

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ostrava 2013

Bc. Vít Kaplan

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

410 – Katedra elektroenergetiky

Moderní řízení osvětlovacích soustav

Contemporary Lighting systems control

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Vít Kaplan

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Moderní řízení osvětlovacích soustav
Contemporary Lighting systems control

Zásady pro vypracování:

1. Výpočtové metody vnitřních osvětlovacích soustav denního osvětlení
2. Výpočtové metody vnitřních osvětlovacích soustav umělého osvětlení
3. Modelování příspěvků denního osvětlení
4. Světelně-technické výpočty vzorové místnosti
 - Činitel denní osvětlenosti
 - Osvětlenosti vygenerované denním osvětlením (v dynamickém režimu)
 - Umělé osvětlení
 - Výpočty potenciálu energetických úspor
5. Měření reálného stavu stmívání a spotřeby elektrické energie ve vzorové místnosti
6. Srovnání modelové situace s reálným stavem

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika, ČVUT, Praha, 2011
- [2] Plch, J.: Světelná technika v praxi. IN-EL spol. s.r.o., Praha 1999,
- [3] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995,
- [4] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, VŠB-TU Ostrava
- [5] Manuály k výpočetním programům (Relux, WILS, WDLS)

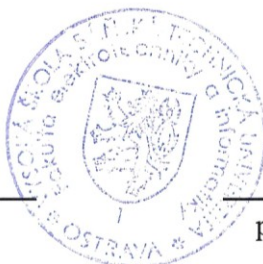
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Novák, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne 6. 5. 2013 v Ostravě

Vít Kaplan



Poděkování studenta

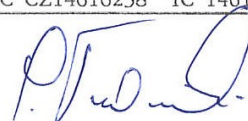
Chtěl bych poděkovat za ochotu a odbornou pomoc při vytváření diplomové práce svému vedoucímu Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. Také bych rád poděkoval Ing. Lud'ku Trawinskému za umožnění využívání laboratoře ve firmě Trimr s. r. o. při vytváření diplomové práce.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků článku 26, odstavec 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských /magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Ostravě dne 6. 5. 2013

TRIMR s.r.o.
Sokola Tůmy 1536/5
709 00 Ostrava 9
tel.: 596 624 775, 596 624 160
DIČ CZ14616238 IČ 14616238



Podpis a razítko

Abstrakt (Abstract)

Diplomová práce se zabývá návrhy vnitřních osvětlovacích soustav umělého osvětlení a jejich řízením na konstantní hladinu osvětlenosti. Toto řízení se provádí pomocí inteligentní elektroinstalace KNX. Umělé osvětlení v místnosti je řízeno v návaznosti na vstupující denní osvětlení stavebními otvory do prostoru vzorové místnosti. Důvodem řízení osvětlení je úspora elektrické energie vlivem stmívání osvětlení. Diplomová práce je založena na výsledcích matematických výpočtů, které jsou porovnány s reálně naměřenými daty. Matematický výpočet úspor elektrické energie je koncipován na nejmenší možnou úsporu elektrické energie, která může nastat. Výsledky měření potvrzují předpoklady tohoto výpočtu a v mnohém je převyšují.

In this master thesis the main emphasis has been given on a design of an artificial indoor lighting system and its control for the purpose of a continuous light level. The artificial lighting system in the testing room is controlled according to the incoming daylight through the testing room's openings, such as windows. An intelligent electro installation KNX has been used for the control. The main reason for such a control are then the savings of electrical energy as the artificial lighting system is not only fully switched on but is adjusted to the incoming daylight, thus consuming lower amount of electrical power. The work done in this master thesis is based on mathematical calculations, which are compared with real data measured in the testing room. The mathematical calculations of the energy savings are then drawn up to the lowest possible energy saving. In the result, it has been proven that the data measured either correspond to the mathematical assumptions or these assumptions exceed.

Klíčová slova (Key words)

Řízení osvětlení, Úspory elektrické energie, Kombinované osvětlení, DALI, KNX,

Control of an artificial lighting system, Energy savings, Combined lighting system, DALI, KNX

Seznam použitých symbolů a zkratek

CELENEC	-	Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice
CIE	-	Mezinárodní komise pro osvětlování
CIE IDMP	-	Světová síť měřících stanic
ČSN	-	Česká technická norma
DALI	-	Digitálně adresovatelné světelné rozhraní
IR	-	Infračervené záření
ISO	-	Mezinárodní komise pro normalizaci
KNX	-	Celosvětový standart pro aplikace řízení budov (KONNEX)
PLC	-	Programovatelný logický automat
TMY	-	Typický meteorologický rok
UV	-	Ultrafialové záření
A	-	Plocha
D	-	Činitel denní osvětlenosti
D_v	-	Difuzní horizontální osvětlenost
E	-	Intenzita osvětlení, osvětlenost
G_v	-	Celková horizontální osvětlenost
L	-	Jas
P_v	-	Přímá horizontální osvětlenost
q	-	Činitel jasu oblohy
R_a	-	Podání barev
U_0, r	-	Rovnoměrnost osvětlení
UGR	-	Index oslnění
ρ	-	Odraznost
τ	-	Propustnost
ψ	-	Úhel prostupu

Obsah

1	Úvod.....	- 1 -
2	Problematika osvětlování vnitřních pracovních prostor	- 2 -
2.1	Denní osvětlení	- 3 -
2.2	Umělé osvětlení	- 4 -
2.3	Osvětlovací soustavy denního osvětlení	- 6 -
2.4	Vnitřní osvětlovací soustavy umělého osvětlení.....	- 10 -
2.5	Vnitřní osvětlovací soustavy kombinovaného osvětlení	- 11 -
3	Výpočtové metody vnitřních osvětlovacích soustav.....	- 13 -
3.1	Denní osvětlení	- 13 -
3.2	Umělé osvětlení	- 17 -
3.3	Výpočetní programy	- 18 -
4	Modelování dynamického chování denního osvětlení	- 19 -
5	Místnost pro porovnání modelové a reálné situace	- 23 -
5.1	Popis laboratoře	- 24 -
6	Světelně-technické výpočty vzorové místnosti	- 26 -
6.1	Činitel denní osvětlenosti	- 26 -
6.1.1	<i>Dialux</i>	- 26 -
6.1.2	<i>Relux</i>	- 27 -
6.1.3	<i>Wdls</i>	- 28 -
6.1.4	<i>Srovnání</i>	- 28 -
6.2	Osvětlenosti vygenerované denním osvětlením (v dynamickém režimu)	- 28 -
6.3	Umělé osvětlení	- 30 -
6.3.1	<i>Dialux</i>	- 30 -
6.3.2	<i>Relux</i>	- 31 -
6.3.3	<i>Wils</i>	- 32 -
6.3.4	<i>Srovnání</i>	- 32 -
6.4	Výpočty potenciálu energetických úspor	- 33 -
7	Měření osvětlení ve vzorové místnosti	- 37 -
7.1	Principy stmívání umělé osvětlovací soustavy	- 37 -

7.2	Chování osvětlovací soustavy v různých režimech	- 39 -
7.3	Shrnutí naměřených dat ve vzorové místnosti.....	- 41 -
8	Srovnání modelové situace s reálným stavem	- 43 -
9	Závěr.....	- 46 -
	Seznam obrázků	- 47 -
	Seznam tabulek.....	- 49 -
	Seznam literatury	- 50 -
	Seznam příloh	- 52 -

1 Úvod

Impulzem pro vytvoření této diplomové práce byla rostoucí cena elektrické energie a požadavky investorů o nalezení možnosti úspor v režii nově realizovaných, ale také i již v provozovaných objektech. Z toho důvodu provedu zjištění možnosti úspor elektrické energie vlivem smívání osvětlení na konstantní hladinu osvětlenosti v návaznosti na intenzitu venkovního osvětlení vstupujícího do místnosti. Další motivací je zákon č.318/2012 Sb., který mění zákon 406/2000 Sb. o hospodaření energií. Zákon je platný od 1. 1. 2013. Tento zákon vychází ze schválené směrnice Evropské unie. Podle tohoto zákona bude muset stavebník plnit požadavky na energetickou náročnost budovy podle prováděcího právního předpisu. Budovy, jejichž energeticky vztažná plocha bude větší než 1500m² a provozovatelem je orgán veřejné moci, musí od 1. 1. 2016 splňovat požadavky odpovídající budově s téměř nulovou spotřebou energie. Každý další rok budou do těchto povinností zahrnuti další typy objektů podle jejich energeticky vztažné plochy a typu provozovatele. Od 1. 1. 2020 se tato povinnost bude vztahovat na všechny nové budovy[12].

Cílem diplomové práce je rozbor teoretických možností návrhu osvětlovací soustavy s umělým, denním a kombinovaným světlem podle příslušných parametrů vycházejících z norem ČSN. Z těchto teoretických předpokladů bude vycházeno při výpočtech pomocí specializovaných programů. Výsledky výpočtů z výpočetních programů budou porovnány s reálně naměřenými daty ze vzorové místnosti. Hlavním a nejdůležitějším parametrem bude srovnání reálných úspor elektrické energie, získaných pomocí stmívání osvětlení v návaznosti na intenzitu venkovního světla vstupujícího do místnosti, s hodnotami úspor elektrické energie vypočtenými pomocí výpočetních programů Wils a Wdls, na jehož vývoji spolupracuje Fakulta elektrotechniky a informatiky Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava.

Provedl jsem dlouhodobé měření. U tohoto měření bylo řízeno osvětlení na konstantní hladinu osvětlenosti na srovnávací rovině pomocí dvou senzorů osvětlenosti. Senzory byly přiřazeny k jednotlivým světelným řadám. Toto měření bylo provedeno v laboratoři ve firmě Trimr s.r.o.. Tato laboratoř vznikla ve spolupráci s Vysokou školou báňskou - Technickou univerzitou Ostrava. Dále využívám data, která jsem naměřil pro svou bakalářskou práci a nebyla plně využita. Tyto data byly naměřeny ve stejné laboratoři, ale s jiným typem řízení. Systém řízení na konstantní hladinu intenzity osvětlení pracoval pomocí jednoho stropního čidla intenzity osvětlení a konstantního výkonového posunu druhé zářivkové řady. Data z těchto měření porovnám s výsledky matematického modelu.

2 Problematika osvětlování vnitřních pracovních prostor

Osvětlování vnitřních prostorů se vyvíjelo od počátku civilizace společně s vývojem a zdokonalováním obytných staveb. Zásadní zvrát v osvětlovací technice způsobil objev elektrické žárovky, a ke konci devatenáctého století technologické zvládnutí její výroby, o které se zasloužil v roce 1879 Thomas Alva Edison. Elektrické světlo podnítilo rozvoj ostatních lidských činností, díky tomu, že se produktivní čas jednoho dne rozšířil na 24 hodin [1].

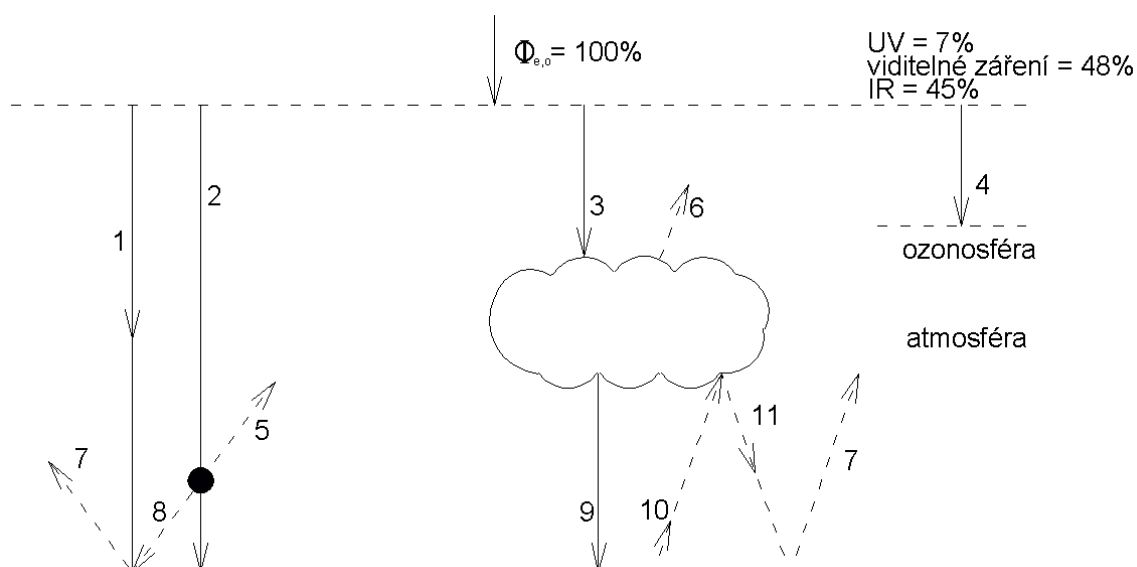
Aby lidé mohli vykonávat zrakové úkoly účinně a přesně, musí jim být poskytnuto vhodné osvětlení. Osvětlení může být poskytnuto denním osvětlením, umělým osvětlením nebo jejich kombinací. Úroveň viditelnosti a pohody požadována pro širokou řadu pracovních prostorů závisí na druhu pracovní činnosti a době trvání. Požadavky na osvětlení vnitřních prostorů v určité etapě vývoje společnosti jsou kompromisem vycházejícím z obecných zákonitostí zrakového vnímání, rozsáhlých aplikačních experimentů a statistických šetření v reálných interiérech na jedné straně a z technických a ekonomických možností společnosti na straně druhé. Při odvozování světelně-technických parametrů osvětlovacích soustav se vychází ze dvou souhrnných kritérií charakterizujících úroveň vidění. Jedním je zrakový výkon a druhým zraková pohoda. Zrakový výkon je určen spíše fyziologickými vlastnostmi lidského oka a pro danou zrakovou činnost je poměrně objektivním měřítkem úroveň osvětlení. Zraková pohoda zahrnuje i psychické činitele. Z tohoto hlediska je více ovlivněna subjektivními vlastnostmi uživatelů, a proto je upřednostňována v prostorech společenských, kulturních a oddechových (například v restauracích, kulturních domech, bytech apod.). Cílem osvětlení je vytváření zrakové pohody, což je příjemný a příznivý psychofyziologický stav organismu, vyvolaný optickou situací vnějšího prostředí, který odpovídá potřebám člověka při práci a při odpočinku a umožňuje zraku optimálně plnit jeho funkci. Správné osvětlení, navržené podle zásad současné světelné techniky a respektující psychologické, fyziologické a biologické požadavky, ovlivňuje kvalitu práce, únavu a zdravotní stav lidského organismu [1].

Zařízení vysílající ve většině případů viditelné optické záření (světlo) označujeme jako světelné zdroje. Tyto zdroje rozdělujeme do dvou skupin: zdroje přírodní (slunce, blesk,...) a zdroje umělé (krbový oheň, svíčka, petrolejka, žárovka, výbojka,...). Výše zmíněné zdroje světla jsou takzvané prvotní zdroje světla. Dalšími zdroji jsou zdroje druhotné. V těchto zdrojích světlo nevzniká, pouze dopadající paprsky alespoň z části odrážejí nebo propouští. Takovými to zdroji jsou v podstatě všechny objekty [1].

2.1 Denní osvětlení

Sluneční záření je elektromagnetické záření vyzařované povrchem slunce na širokém spektru vlnových délek 10^{-11}m až 1m i více. Na horní hranici atmosféry dopadá $1,8 \times 10^{17} \text{W} \pm 3,3\%$. Tolerance je způsobena proměnnou vzdáleností slunce od země.

Denní světlo je viditelná část přímého slunečního záření a oblohového záření. Rozklad mimozemského slunečního záření na jednotlivé složky denního světla znázorňuje obrázek 2.1[2].



Obrázek 2.1: Rozklad mimozemského slunečního záření na složky denního světla[2]

- 1) Sluneční záření absorbované atmosférou
- 2) Sluneční záření zeslabené rozptylem
- 3) Sluneční záření dopadající na oblaka
- 4) Ultrafialové záření absorbované ozonoférou
- 5) Difuzní záření odražené atmosférou
- 6) Difuzní záření odražené oblaky
- 7) Difuzní záření odražené povrchem země
- 8) Difuzní oblohové záření způsobené rozptylem slunečního záření v zakalené atmosféře
- 9) Difuzní oblohové záření způsobené rozptylem slunečního záření oblaky
- 10,11) Difuzní záření vícenásobně odražené mezi oblaky a zemí

Pod čísla 5, 6 a 7 je znázorněno difuzní záření, které je odraženo zpátky do mimozemského prostoru. Velikosti jednotlivých složek jsou závislé na aktuálním typu oblohy. Typ oblohy závisí na zákalu atmosféry, rozložení oblaků, jejich typu a propustnosti. Z těchto důvodů se dříve používaly dva typy obloh. Jasná homogenní obloha se sluncem v konkrétní poloze a zimní zatažená obloha s konstantním oblohovým jasnem. V roce 2003 CIE přijala změnu a vznikla norma ISO 15469:2004 vycházející ze studie CIE S 011 / E: 2003. Prostorové rozdělení denního světla je definováno sadou

podmínek, díky kterým je standardní obloha rozdělena na patnáct tipů. Popis tipů je uveden v tabulce 2.1. Jednotlivé typy obloh se od sebe liší mírou zákalu atmosféry a jasnem závislým na úhlové vzdálenosti oblohového elementu od zenitu i úhlové výšce elementu nad horizontem [2,3].

Tabulka 2.1: Základní typy standardních obloh [3]

Typ	Popis rozložení jasu na obloze
1	CIE Standardní zatažená obloha
2	Zatažená obloha se zvýšeným jasnem v místě slunce
3	Zatažená obloha se sníženou gradací jasu k zenitu
4	Zatažená obloha se sníženou gradací jasu k zenitu a zvýšeným jasnem v místě slunce
5	Jednotkový jas na celé obloze
6	Částečně oblačná obloha bez gradace jasu k zenitu a zvýšeným jasnem v místě zastíněného slunce
7	Částečně oblačná obloha bez gradace jasu k zenitu a zřetelným jasnem v okolí částečně zastíněného slunce
8	Částečně oblačná obloha bez gradace jasu k zenitu a zvýšeným jasnem v okolí slunce
9	Částečně oblačná obloha se zastíněným sluncem
10	Částečně oblačná obloha se zřetelným jasnem v okolí slunce
11	Bělomodrá obloha se zvýšeným jasnem v okolí sluce
12	CIE Standardní jasná obloha s nízkým zákalem
13	CIE standardní jasná obloha s vyšším zákalem
14	Bezoblačná, značně zakalená obloha
15	Bezoblačná bělomodrá obloha s vyšším zákalem

Pro výpočty osvětlenosti a úspor energie budeme vycházet z oblohy prvního typu CIE Standardní zatažená obloha. Tato obloha byla vybrána z hlediska jejích parametrů, jelikož tyto parametry představují nejhorší možnou variantu oblohy, která může nastat, eliminuje vliv geografického natočení místnosti a jejích prosvětlovacích otvorů a je dostačující pro odhad. Pro výpočet pomocí této oblohy bude také používána gradace jasu 1:3 pro tmavý terén, viz rovnice 3.4 a obrázek 3.2.

2.2 Umělé osvětlení

Umělé osvětlení je realizováno pomocí umělých světelných zdrojů. Umělé světelné zdroje pracují na různých principech vzniku světla. Princip a technologie výroby udává příslušnému zdroji světla jeho parametry jako je teplota chromatičnosti (tabulka 2.2), příkon (tabulka 2.3), měrný výkon (tabulka 2.3), podání barev a životnost (tabulka 2.4). V návaznosti na tyto parametry je použití některého světelného zdroje v určitých oblastech vhodnější než použití jiného zdroje.

Tabulka 2.2: Teplota chromatičnosti různých světelných zdrojů [4]

Druh světelného zdroje	Teplota chromatičnosti (K)
Zářivka studené denní světlo	6 500 a více
Zářivka denní světlo	5 400
Jasná obloha	6 500
Slunce v létě v poledne	5 500
Zářivka studená bílá	4 000
Slunce při západu	3 500 ÷ 4 000
Žárovka, žárovka teple bílá	2 700
Plamen svíčky	1 800

Tabulka 2.3: Měrný výkon běžných světelných zdrojů [4]

Druh světelného zdroje	Příkon (W)	Měrný výkon (lm·W ⁻¹)
Žárovka	15 – 200	6 – 15
Halogenová žárovka	10 – 2000	14 – 26
Kompaktní žárovka	5 – 60	56 – 88
Lineární žárovka	T8 10 – 58	65 – 90
Lineární žárovka	T5 14 – 80	70 – 104
Indukční výbojky	50 – 400	70 – 93
Rtuťová výbojka	50 – 1 000	50 – 80
Vysokotlaká sodíková výbojka	50 – 1 000	88 – 150
Halogenidová výbojka	35 – 3 500	94 – 103
Nízkotlaká sodíková výbojka	18 – 180	130 – 200
Světelné diody	1 – 20	až 140
Xenonová výbojka	25 - 10 000	až 95
Plazmový světelný zdroj	až 250	až 85

Tabulka 2.4: Orientační životnost běžných světelných zdrojů [4]

Druh světelného zdroje	Průměrná životnost (h)	Užitečná životnost (h)
Obyčejné žárovky	1 000	1 000
Halogenové žárovky	2 000 – 3 000	2 000 – 3 000
Kompaktní žárovky	15 000	6 000 – 15 000
Lineární žárovky	20 000	10 000 – 18 000
Vysokotlaké rtuťové výbojky	16 000 – 24 000	10 000 – 20 000
Vysokotlaké sodíkové výbojky	32 000	20 000
Nízkotlaké sodíkové výbojky	16 000	16 000
Halogenidové výbojky	10 000	4 000
Indukční výbojky	60 000	20 000
Výkonové LED	50 000 – 100 000	25 000 – 50 000
Plazmové světelné zdroje	50 000	50 000
Xenonové výbojky	1 000 – 3 000	1 000 – 3 000

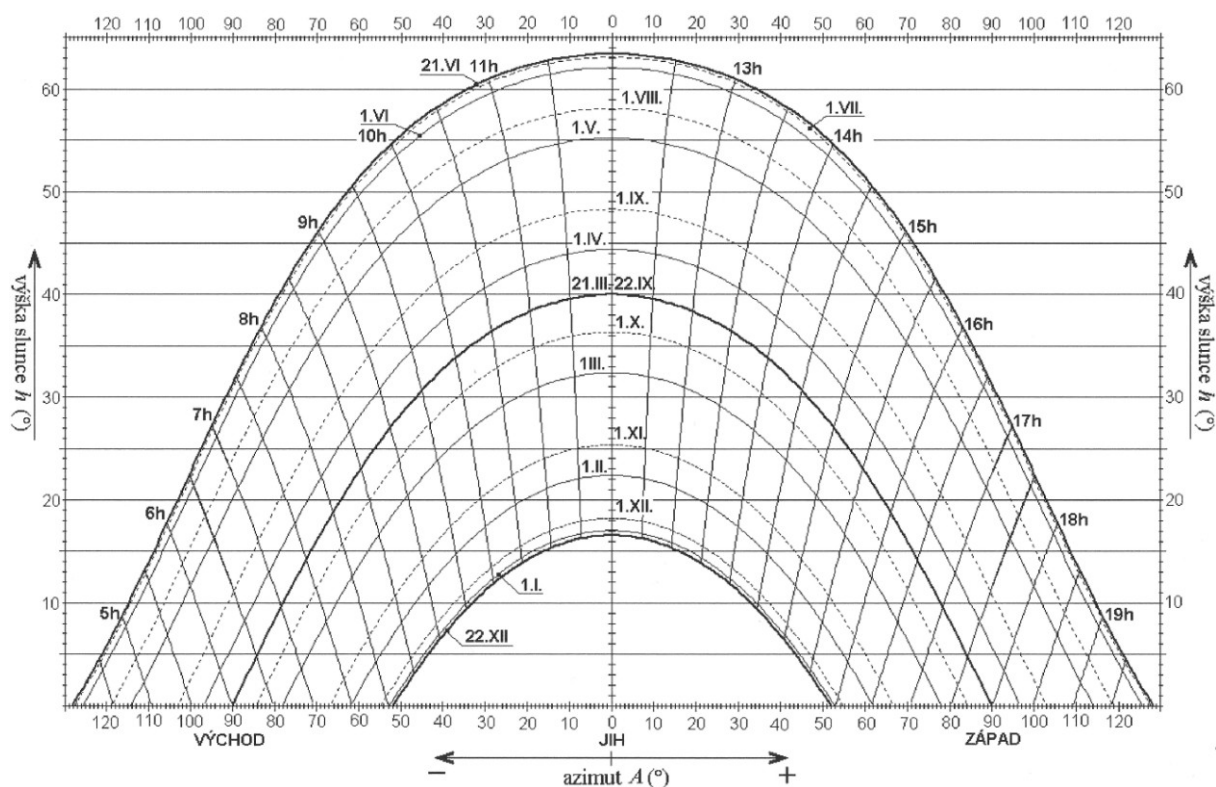
Výše uvedené tabulky zobrazují parametry jednotlivých zdrojů světla. Z těchto tabulek zjistíme, že lineární zářivka má teplotu chromatičnosti obdobnou jako denní světlo, má vysoký měrný výkon a relativně dlouhou dobu životnosti. Díky jejímu podání barev a možnosti řízení je v dnešní době ideálním zdrojem světla pro administrativní prostory, laboratoře, učebny atd.

Dalšími rozhodovacími parametry je cena světelného zdroje a svítidla, diagram jeho využití, úspora energie při použití daného svítidla a z toho vyplývající návratnost vložené investice. Další možností vzniku úspor energie v osvětlovací soustavě je typ řízení samotné osvětlovací soustavy. Nejzákladnější typ řízení světelného zdroje využívá každý člověk. Vypínání a zapínání světelného zdroje pomocí vypínače se dá považovat už jako primitivní princip řízení. Pokud změníme řízení na automatické, dojde ke zvýšení úspor a zajištění většího uživatelského komfortu.

Při posouzení všech těchto zákonitostí byla pro posuzování naměřených a vypočítaných dat v následující části práce vybrána místnost se zářivkovým osvětlením s elektronickými předřadníky.

2.3 Osvětlovací soustavy denního osvětlení

Do soustav vnitřního umělého osvětlení necháváme vstupovat venkovní denní osvětlení s vědomím, že denní osvětlení způsobuje nežádoucí jevy, jako je oslnění přímým slunečním svitem. Toto osvětlení musíme regulovat pomocí závěsů, žaluzií, markýz a dalších stínících prvků. Přesto že, jsou intenzity osvětlení v interiéru během dne proměnlivé v závislosti na aktuálním venkovním počasí a pohybu slunce po obloze během dne i ve vztahu k ročnímu období, viz pravoúhlý sluneční diagram obrázek 2.2, snažíme se dostat do vnitřního prostoru co největší podíl slunečního záření pomocí prosvětlovacích stavebních otvorů ve zdech, střepech a střeších. Do míst, která neleží v bezprostředním dosahu venkovního denního záření, nahrazujeme tyto nedostatky pomocí prosklených stěn, získáním alespoň difúzního venkovního záření zprostředkovaně přes sousední místnost nebo pomocí světlovodů. Ty pomocí odrazných ploch jsou schopny přenést velké množství pohlceného světla do interiéru [3].



Obrázek 2.2: Pravoúhlý sluneční diagram[11]

Všechny tyto stavební a technické řešení provádíme proto, aby byla splněna podmínka zakotvená v normě ČSN 73 0580-1. Tato norma pojednává o právním nároku na denní osvětlení a jmenovitě označuje prostory, jež musí mít v nově navrhovaných budovách vždy vyhovující denní osvětlení. Takovéto prostory jsou například ložnice a pokoje pro dlouhodobé ubytování a rekreaci, denní místnosti v zařízeních pro předškolní výchovu, učebny škol, kromě speciálních poslucháren, nebo například vyšetřovny a lůžkové místnosti zdravotních zařízení. To, že některé prostory určené k trvalému pobytu osob nejsou uvedeny v normě, neznamená, že v nich není vyžadováno trvalé osvětlení, pouze jim není věnována zvýšená pozornost. Dalšími důvody je zachování biologických rytmů člověka, které jsou řízeny takzvanými cirkadiánními čidly reagujícími na sluneční záření, urbanisticko-architektonická řešení a v neposlední řadě je důležité hledisko ekonomicko-energetické ke kterému bude směřovat celá práce [4,9].

Základní požadavky na denní osvětlení v místnostech jsou vztaženy k účelu, kterým bude místnost využívána. Pro hodnocení množství denního světla dopadajícího do interiéru je užíván činitel denní osvětlenosti D . Parametr D je podíl osvětlenosti dané roviny oblohovým světlem a současné srovnávací hodnoty osvětlenosti venkovní nezastíněné vodorovné roviny za předpokládaného rozložení jasu s gradací 1:3 pro tmavý terén a gradací 1:2 pro místa s dlouhodobou sněhovou pokrývkou. Hodnota průměrného D_m a minimálního D_{min} činitele denní osvětlenosti je v normě ČSN

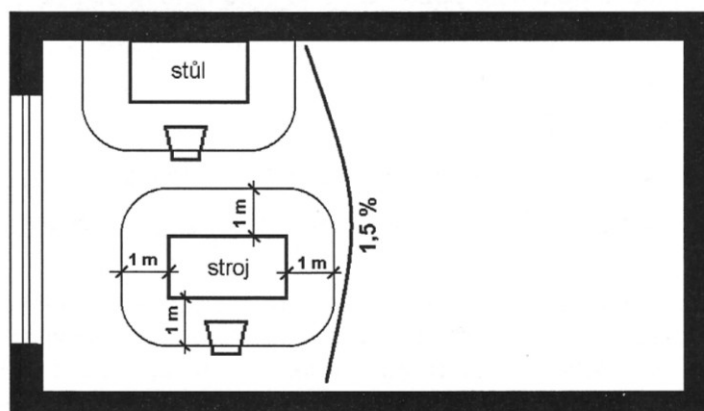
73 0580-1 dána hodnotou různou pro každou třídu zrakové činnosti. Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti musí být splněna pouze v případě, že do prostoru vstupuje nejméně 50% denního osvětlení horním osvětlovacím otvorem. Místnost, se kterou budeme pracovat je laboratoř ve které je dán požadavek na kancelářské osvětlení. Z toho vyplývá, že se místnost pohybuje ve čtvrté třídě zrakové činnosti viz tabulka 2.5[5,9].

Tabulka 2.5: Zrakové činnosti a hodnoty činitele denní osvětlenosti [9]

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakové činnosti	Hodnota činitele denní osvětlenosti v %	
				minimální D _{min}	průměrná D _m
I	Mimořádně přesná	3300 a větší	Nejpřesnější zraková činnost s omezenou možností použití zvětšení, s požadavkem na vyloučení chyb v rozlišení, nejobtížnější kontrola	3,5	10
II	Velmi přesná	1670 - 3300	Velmi přesné činnosti při výrobě a kontrole, velmi přesné rýsování, ruční rytí s velmi malými detaily, velmi jemné umělecké práce	2,5	7
III	Přesná	1000 - 1670	Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení, obtížné laboratorní práce, náročná vyšetření, jemné šití, vyšívání	2	6
IV	Středně přesná	500 - 1000	Středně přesná výroba a kontrola, čtení psaní (rukou, strojem vč. PC), obsluha strojů, běžné laboratorní práce, vyšetření, ošetření, hrubší šití, pletení, žehlení, příprava jídel, závodní sport	1,5	5
V	Hrubší	100 - 500	Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem, konzumace jídla a obsluha, oddechové činnosti, základní a rekreační tělovýchova, čekání	1	3
VI	Velmi hrubá	menší než 100	Udržování čistoty, sprchování a mytí, převlékání, chůze po komunikacích přístupných veřejnosti	0,5	2
VII	Celková orientace	-	Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu, celkový dohled	0,2	1

Podle požadavků na danou místnost a příslušného výpočtu nebo měření určíme hranici v místnosti. Tato hranice určuje, v jaké vzdálenosti od oken lze ještě z hlediska přístupu denního světla

provádět požadovanou činnost. Na obrázku 2.3 je zobrazen názorný příklad z normy ČSN 73 0580-1 odpovídající zrakové činnosti třídy IV.[9]



Obrázek 2.3: Stanovení hranice D_{min} pro třídu IV [9]

Pro měření nebo výpočet parametru D je nutné použít difuzní oblohu bez přímé složky slunečního záření. Jelikož tyto světelné podmínky nastávají dvakrát až třikrát za rok, zjišťujeme D ve většině případů výpočtem. Jak měření, tak i výpočet vnitřních intenzit osvětlení se provádí v definovaném rastru, závislém na velikosti místnosti, nejčastěji se vzdáleností bodů od 1m do 6m. Měřicí rastr je umístěn 1m vzdálený od povrchů vnitřních stěn ve výšce srovnávací roviny 0,85m od podlahy. Tuto výšku je možné upravit podle přesně definovaného účelu použití místnosti (pro komunikační prostory je úroveň podlahy brána jako srovnávací rovina) [4,9].

$$D = \frac{E}{E_{eb}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.1)$$

Rovnoměrnost denního osvětlení nemá být pro zrakové činnosti třídy I-IV menší než 0,2. Tato rovnoměrnost je pouze doporučující. U denního osvětlení je rovnoměrnost závazná pouze pro místnosti do kterých vstupuje více jak 50% denního světla horním osvětlovacím otvorem. Rovnoměrnost r je dána podílem nejmenší a největší hodnoty činitele denní osvětlenosti zjištěné v kontrolních bodech viz vzorec 2.2 [9].

$$r = \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad (2.2)$$

Venkovní nezastíněná rovina je nezastíněná plocha v blízkosti měřené místnosti. Jako tuto plochu ve většině případů volíme střechu domu, ve kterém je měření prováděno. Jas oblohy bývá kontrolován jasoměrem, aby nedošlo k nežádoucí změně požadovaných parametrů pro měření [9].

2.4 Vnitřní osvětlovací soustavy umělého osvětlení

Světlo z umělého zdroje nahrazuje denní světlo tam, kde je ho nedostatek z důvodu špatného přísunu venkovního světla do prostoru, nebo v době mezi západem a východem slunce, např. vzdálená místa od oken, při zastínění pracovní plochy překážkou nebo ve výrobnách s nepřetržitým provozem. Moderní světelné zdroje umožňují vytvořit ve vnitřních prostorech umělé osvětlení kvantitativně srovnatelné s denním světlem. Intenzitu umělého osvětlení navrhujeme na požadovaný zrakový výkon s požadovaným rozmístěním zdrojů z důvodu rovnoměrnosti osvětlení [4].

Požadované intenzity osvětlení přiřazené pracovním činnostem jsou uvedeny v tabulce 2.6. Z tabulky 2.6 plyne skutečnost, že čím je obtížnější zrakový výkon, tím je zapotřebí vyšší intenzity osvětlení na základě toho, že oko musí rozlišovat menší detaily. Potřebná intenzita se zvyšuje s délkou zrakové činnosti, s rychlostí změn pozorovaného detailu a s menšími kontrasty pozorovaných ploch. Konkrétní hodnoty osvětlení pro různé druhy činnosti jsou uvedeny v normě ČSN EN 12464-1, která byla převzata z evropské normy pro osvětlování a podnětem pro ni byly doporučení Mezinárodní komise pro osvětlování [4].

Tabulka 2.6: Doporučené rozsahy osvětlenosti podle CIE [4]

Osvětlenost (lx)	Prostor, místo, druh činnosti
20-30-50	základní jednoduchá zraková orientace v prostředí
50-75-100	jednoduchá orientace, kratší doba jednoduché činnosti
100-150-200	prostory, které nejsou dlouhodobě užívány pro pracovní účely, prostory obytné a společenské
200-300-500	zraková místa pro jednodušší, běžné pracovní úkoly (kanceláře, školy)
500-750-1 000	zraková místa pro vizuálně náročnější déle trvající pracovní úkony
1 000-1 500-2 000	zvláště náročné zrakové úkoly
více než 2 000	velmi náročné zrakové úkoly

Rovnoměrnost umělého osvětlení je obdobou rovnoměrnosti denního osvětlení s tím rozdílem, že místo vlivu venkovního světla je dána rozmístěním daných svítidel po místnosti. Rovnoměrnost se dá zjistit měřením, popřípadě výpočtem pravidelné sítě kontrolních bodů na vodorovné srovnávací rovině. Z těchto bodů je následně vypočítána podle vztahu 2.3. Výška srovnávací roviny je stanovena na hodnotu 0,85m od podlahy. Tuto výšku je možné měnit, pokud je místnost užívána ke konkrétnímu účelu. Krajní body se umísťují jeden metr od vnitřních povrchů stěn.

$$r = \frac{E_{min}}{E_p} \approx \frac{L_{min}}{L_p} \quad (2.3)$$

Tabulka číslo 2.7 znázorňuje parametry uváděné normou ČSN EN 12464-1. Tyto uvedené parametry určují minimální požadavky na umělé osvětlení v administrativních prostorech. Tyto prostoty jsou ještě dále definovány do jednotlivých částí podle typu prováděného úkonu. Tato tabulka vystihuje v bodě 5.26.2 laboratoř, ve které probíhalo měření.

Tabulka 2.7: Administrativní prostory (kanceláře) [10]

Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Specifické požadavky
5.26.1	zakládání dokumentů, kopírování atd.	300	19	0,4	80	
5.26.2	psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat	500	19	0,6	80	práce s displeji viz 4.9
5.26.3	technické kreslení	750	16	0,7	80	
5.26.4	pracovní stanice CAD	500	19	0,6	80	práce s displeji viz 4.9
5.26.5	konferenční a zasedací místnosti	500	19	0,6	80	osvětlení má být regulovatelné
5.26.6	recepce	300	22	0,6	80	
5.26.7	archivy	200	25	0,4	80	

2.5 Vnitřní osvětlovací soustavy kombinovaného osvětlení

Výše byla zmíněna důležitost denního osvětlení pro lidský organismus. Místnosti, kde se používá i přes den kombinované osvětlení, musí vyhovět při výpočtu činitele denní osvětlenosti hodnotám z tabulky 2.5. Pokud hodnoty D_{min} pro příslušnou třídu zrakové činnosti se nedostanou na požadovanou hodnotu, jedná se pak o místnosti se sdruženým osvětlením. Místnosti se sdruženým osvětlením musí splňovat jinak položené nároky na typ a kvalitu umělého světla a také jsou zde hygienická omezení ohledně doby pobytu v těchto místnostech. Sdružené osvětlení je možno použít v nově navrhovaných stavbách pouze v prostorech, kde ze závažných příčin není možno docílit vyhovujícího denního osvětlení. Hodnoty osvětlenosti kombinovaným osvětlením by měli být navrženy tak, aby v zóně u okna bylo osvětlení realizováno ve větší části provozní doby za jakéhokoli typu oblohy vyhovujícím denním světlem. V druhé zóně je osvětlení realizováno kombinovaným osvětlením, kde by převahu mělo mít denní osvětlení. V třetí zóně (nejvzdálenější) od okna je osvětlení realizováno taktéž kombinovaným osvětlením, ale již převážná část je tvořena umělým světlem. Při návrhu takového místa musí být splněny základní požadavky:

- Dosažení úrovně osvětlení nezbytné pro předpokládané zrakové činnosti v celém vnitřním prostoru.

- Dosažení vhodného rozložení světelného toku a převažujícího směru osvětlení v souladu s charakterem využití vnitřního prostoru, rozmístěním a zrakovými činnostmi všech uživatelů tohoto prostoru.
- Dosažením rovnoměrnosti osvětlení potřebné pro předpokládané zrakové činnosti v celém vnitřním prostoru.
- Dosažením vyhovujícího rozložení jasů ploch ovlivňující vidění a zrakovou pohodu a jejich kontrastů v souladu se zrakovou činností.
- Vyloučení oslnění přímým slunečním světlem.
- Vyloučení oslnění odraženým světlem.
- Vyloučení vzniku siluetového efektu tam, kde pozorování předmětu proti osvětlovacímu otvoru je důležitou součástí zrakového úkolu.

Příslušným třídám zrakové činnosti také odpovídají hodnoty poměrů jasů pozorovaného předmětu vůči osvětlovacímu otvoru. Pokud tato podmínka není splněna, řeší se tento problém zvýšením jasů umělého osvětlení a tím i jas pozorovaných předmětů nebo snížením jasů osvětlovacích otvorů nějakým z tipů stínících zařízení [1].

3 Výpočtové metody vnitřních osvětlovacích soustav

3.1 Denní osvětlení

Podle definice denní osvětlenosti vyplývá. Celková denní osvětlenost E_g je složena z osvětlenosti způsobené dopadajícím slunečním zářením přímým E_s a oblohovým světlem E_{ob} . Z toho důvodu je dána vztahem 3.1[3].

$$E_g = E_s + E_{ob} \quad (3.1)$$

Pro zjištění parametrů denního osvětlení v daném prostoru můžeme postupovat více způsoby. Jedním ze způsobů je měření v reálném prostoru. Toto měření je možné provádět pouze při rovnoměrně zatažené obloze. Další variantou je měření na modelu. Pro tento způsob měření se ale požaduje přesně vytvořený model prostoru i oblohy. Poslední a neoptimálnější metodou je výpočet denního osvětlení.

Při stanovování matematicko-fyzikálního modelu prostoru je důležité použít parametry rovnoměrně zatažené oblohy s gradací jasu 1:3 pro tmavý terén. Pro horské oblasti s významným počtem dní se sněhovou pokrývkou můžeme použít i gradaci jasu 1:2. Dále nahrazujeme skutečné konstrukce umístěné ve stavebních otvorech činiteli ztrát, které reprezentují vlastnosti prostupu světla příslušných konstrukcí oken nebo světlíků.

Při většině výpočtových metod je zjišťovaným finálním parametrem parametr D. Činitel denní osvětlenosti lze počítat pouze orientačně, což se používá při návrhu umístění stavby nebo při přípravných fázích projektu. Parametr D je také možno počítat pomocí podrobných metod, které slouží k detailním návrhům nebo pro ověření již realizovaných staveb.

Postup výpočtu z důvodu velkého množství metod není normalizován. Jsou stanovena kritéria, která musí výpočet splňovat:

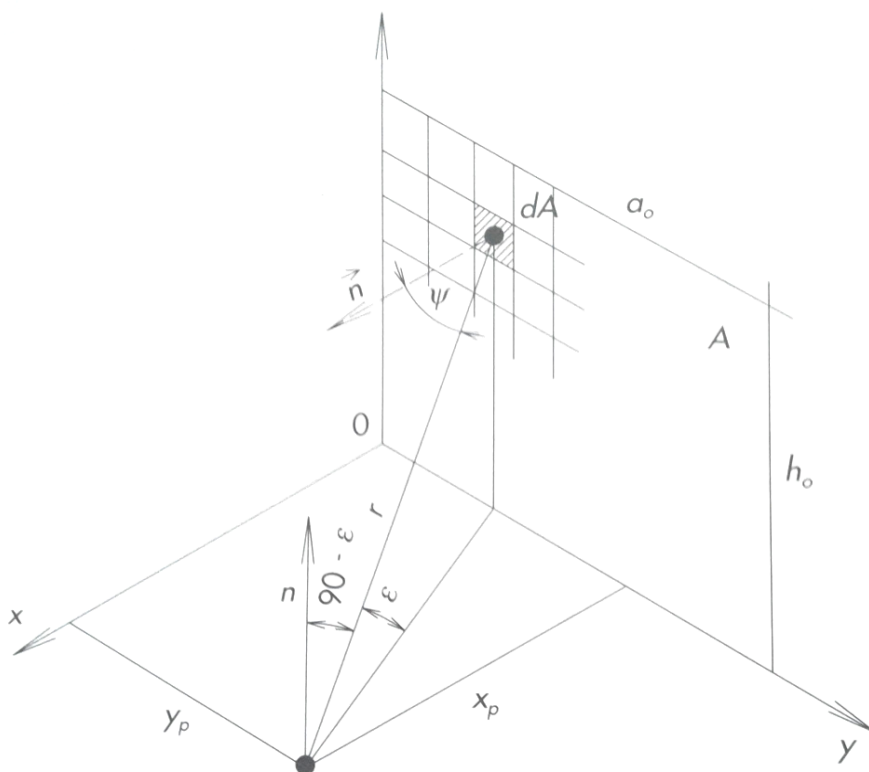
- rozložení jasu rovnoměrně zatažené oblohy
- ztráty světla při prostupu otvory
- stínění venkovními překážkami
- odraz světla od venkovních překážek – předmětů
- mnohonásobný odraz světla v interiéru [9]

Základní metody výpočtu denního osvětlení je možné rozdělit do základních skupin podle principu. Metody tokové nebo také označované jako účinnostní jsou založeny na fyzikálním vztahu (3.2). Tento princip výpočtu je založen na vyhodnocení světelného toku prostupujícího osvětlovacími otvory a na jeho rozložení na jednotlivé povrchy v místnosti. Výsledkem je průměrná hodnota D [2].

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (lx; lm; m^2) \quad (3.2)$$

Druhou metodou je bodová metoda. Tato metoda zvládne spočítat D v jednotlivých definovaných bodech. Nejčastěji se používají body uskupené do rastru, který se shoduje s rastrem pro měření D . Tento princip je založen na fyzikálním vztahu (3.3). Tento vztah vychází z teorie záření velice malého (bodového) zdroje světla viz obrázek 3.1. Z uvedeného vzorce 3.3 vycházejí grafické výpočetní metody jako například Daniljukovy diagramy, protraktory podle Kittlera a Waldrmův diagram. Dále je možno použít metodu bodového výpočtu podle normy ČSN 730580-1. U těchto metod je velice důležité zvolit vhodný dělicí poměr, pro který je světelný zdroj již dostatečně malý, tedy bodový [2].

$$E = \int L_{\varepsilon} \cdot \cos(90 - \varepsilon) \cdot d\Omega \quad (3.2)$$



Obrázek 3.1: Geometrické závislosti osvětlenosti od elementární plochy [2]

Metoda Daniljukových diagramů se používá pro výpočet oblohové a venkovní odražené složky činitele denní osvětlenosti při libovolném sklonu osvětlovacího otvoru a výšce srovnávací roviny. Metoda vychází z oblohové hemisféry rozdělené do systému sta rovnoběžek a sta poledníků tvořící síť dílků. Následně osvětlenost v kontrolním bodě bude od jednotlivých dílků stejná. Z výpočtového bodu se promítá osvětlovací otvor na hemisféru, kde mu připadne příslušný počet dílků [2].

Metoda podle Kittlera se používá pro určení oblohové nebo venkovní odražené složky činitele denní osvětlenosti. Protraktorem příslušným pro daný typ prosvětlovacího otvoru se určuje velikost oblohové složky parametru D. Protraktory byly vytvořeny na základě rozsáhlých analytických výpočtů a je to v podstatě úhloměr zobrazující příspěvky venkovního osvětlení do místnosti [2].

Diagram podle Waldrama je další metodou. Tato metoda má výhody pro určování parametru D při zastínění osvětlovacího otvoru a přesněji také zohledňuje složité obrysy venkovních překážek. Diagram je obdobou metody Kittlera. Navíc se určují elevační a azimutální úhly. Díky těmto úhlům se promítne do diagramu osvětlovací otvor i se stínícími překážkami [2].

Poslední z uvedených metod je metoda bodového výpočtu podle normy ČSN 730580-1. Tato metoda se využívá z důvodu zahrnutí odražené složky světelného záření do výpočtu. Pomocí této metody počítají osvětlení výpočetní programy. Tato metoda výpočtu počítá s vlivem rozložení jasu oblohy dané činitelem jasu oblohy q , ztrátou světla prostupujícího do prostoru výplní prosvětlovacího otvoru představované parametry τ_s a prostupem světla materiálem pod úhlem ψ definované hodnotou τ_ψ , ztrátou světla vlivem znečištění výplně danou činitelem znečištění τ_z , ztrátou světla danou konstrukcí prosvětlovacího otvoru τ_k a budovy τ_b , stínění venkovních překážek dané tvarem stínící budovy, osvětlení vlivem venkovních odrazných ploch charakterizované činitelem odrazu světla ρ , mnohonásobný odraz od ploch vnitřních definované průměrným činitelem odrazu ρ_m a ztráty světla způsobené vnitřním vybavením budovy definované činitelem prostupu světla τ_v [9].

Rozložení jasu oblohy se určí z rovnice 3.4, pokud budeme uvažovat rovnoměrně zataženou oblohu a tmavý terén.

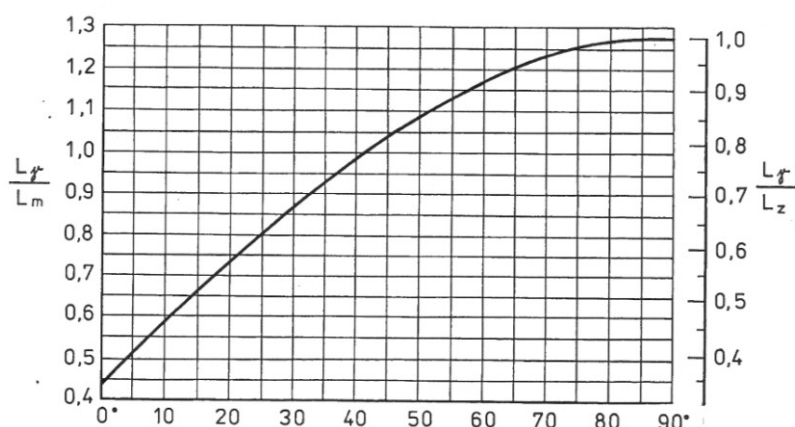
$$L_\gamma = \frac{1}{3} \cdot L_Z \cdot (1 + 2 \sin \gamma) \quad (3.4)$$

Pro výpočet je nutné užít substituce jasu v zenitu L_Z za průměrný jas oblohy L_p pomocí vztahu podle Moon a Spencerové viz rovnice 3.5.

$$L_p = \frac{7}{9} \cdot L_z \quad (3.5)$$

Dosazením 3.5 do rovnice 3.4 dostaneme upravený vztah pro poměr jasů oblohy ve výšce úhlu γ nad horizontem oblohy. Poměr jasů oblohy a průměrného jasů je vyjádřen činitelem jasů q rovnice 3.6. Tomuto výpočtu odpovídá obrázek 3.2, na kterém je znázorněn graf rozložení jasů [9].

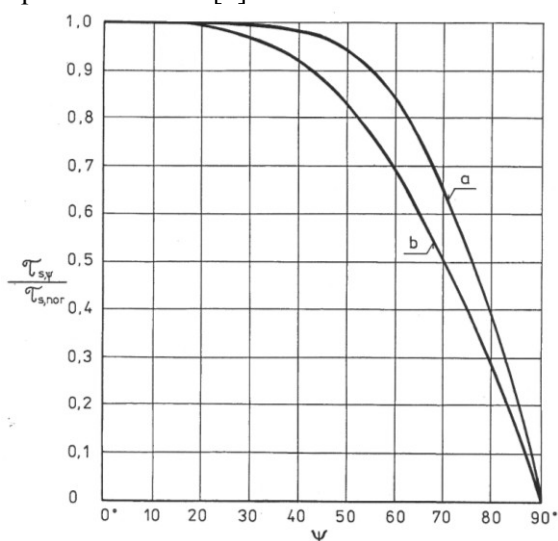
$$q = \frac{L_\gamma}{L_z} = \frac{3}{7} \cdot (1 + 2 \sin \gamma) \quad (3.6)$$



Obrázek 3.2: Rozložení jasů 1:3 na rovnoměrně zatažené obloze při tmavém terénu [9]

Do výpočtu jsou dále zahrnuty údaje o typu použitého skla a jeho propustnosti. Pokud nejsou uvedeny údaje o směrové propustnosti, musí být vypočítány podle vzorce 3.7. Tento vzorec je definován pro dvojité sklo. Na obrázku 3.3 jsou zobrazeny křivky poměrné propustnosti pro zasklení jednoduchým a dvojitým sklem. Vzorec 3.7 odpovídá křivka b [9].

$$\frac{\tau_{s,\psi}}{\tau_{s,nor}} = \cos \psi \left(1 + \frac{\sin^2 \psi}{2} \right) \quad (3.7)$$

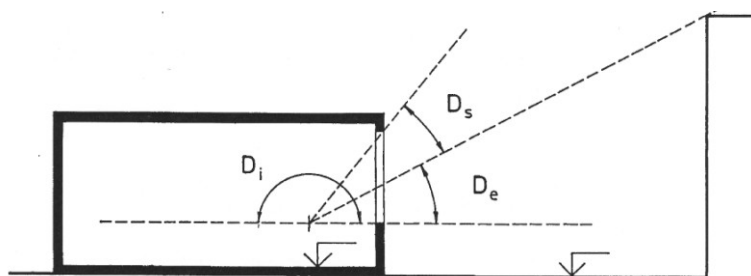


Obrázek 3.3: Charakteristika směrové propustnosti světla [9]

Výpočet musí zahrnovat také ztráty prostupu světla vlivem znečištění. Tento parametr je zde vyobrazen parametrem $\tau_{z,e}$, který stanovuje znečištění z vnější (externí) strany a parametrem $\tau_{z,i}$ určujícím stranu vnitřní (interiér). Hodnoty těchto koeficientů jsou pro různé typy osvětlovacích otvorů uvedeny v normě ČSN 73 0580-1. Hodnota stínění rámu je definována jako podíl prosklené části osvětlovacího otvoru k celkové ploše osvětlovacího otvoru viz vzorec 3.8 [9].

$$\tau_k = \frac{A_s}{A_c} \quad (3.8)$$

Další konstanty ovlivňující výpočet jsou vliv konstrukce budovy τ_b , stínění vybavením interiéru τ_v , venkovní stínící překážky a jejich jas. Pro výpočet D je nutné počítat s jeho všemi třemi složkami (oblohovou D_s , odraženou venkovní D_e a odraženou vnitřní D_i) viz obrázek 3.4 [9].



Obrázek 3.4: Složky činitele denní osvětlenosti [9]

Při výpočtech odražených složek je nutné brát v úvahu činitele odrazu světla různých povrchů. Pokud nejsou definovány v zadání výpočtu, je možné použít hodnoty uvedené v normě ČSN 73 0580-1. Tyto hodnoty jsou zde uvedeny pro průměrně čisté povrchy [9].

Další metody výpočtu vyplývají z již hotových realizací samotných projektů. Empirické metody pracují na podmínce podobnosti ověřených řešení nebo pouze jejich částí. Oproti tomu statistické simulace světelného prostředí vycházejí ze statistických výsledků daných tipů prostředí.

3.2 Umělé osvětlení

Princip výpočtu umělého osvětlení je obdobný jako u denního osvětlení, s tím rozdílem, že zdrojem světla v interiéru není prosvětlovací stavební otvor, ale osvětlovací soustava. Pro návrh osvětlení platí obecná kritéria, která vycházejí z normy ČSN EN 12464-1 – Osvětlování vnitřních pracovních prostor. Příkladem kritérií je dostatečná úroveň osvětlení, přiměřené rozložení jasů ploch v zorném poli, výhodný převažující směr osvětlení a stínivost, omezení oslnění, vhodné spektrální složení světla a přiměřené podání barev. Při návrhu dále rozhodují faktory vhodnosti a hospodárnosti, které jsou závislé na parametrech světelných zdrojů, které již byly uvedeny v druhé kapitole, měrný

výkon, životnost, atd., dále na vlastnostech příslušenství, volbě svítidla a jeho vlastností (krytí, účinnost, ...), způsobu osvětlení (přímé, nepřímé, smíšené, atd.), způsobu ovládání jednotlivých svítidel a jejich skupin, způsobu regulace osvětlení a potřebné údržbě osvětlovací soustavy a ostatních prvků. Při návrhu osvětlovací soustavy jsou důležité kvalitní podklady, z kterých projektant vychází a také zkušenosti a znalosti samotného projektanta.

3.3 Výpočetní programy

Výpočetní technika se vyvíjí velkou rychlostí a díky tomu se zvyšuje i výpočetní výkon. Z toho důvodu můžeme používat výpočtově náročnější metody, které umožní přesněji modelovat světelné situace denního i umělého osvětlení. V počátcích výpočtů se uvažovaly pouze zrcadlové odrazy při výpočtech. Dnes se používají pravděpodobnostní výpočty ostatních složek osvětlenosti s možností nastavení různých parametrů odrazností a propustností materiálů. Také je možné definovat kvalitu výpočtu a s ní svázaný potřebný čas pro výpočet. Kvalita výpočtu je ovlivněna množstvím vyslaných paprsků, které jsou pro výpočet použity [2].

Pro modelování vnitřního osvětlení se používají výpočetní programy, které umějí modelovat světelné soustavy podle různých výpočtových metod vycházejících z metody bodového zdroje. Ve výsledku se liší pouze uživatelským rozhraním. Z těchto programů zde máme hlavní zástupce. Český program Wils se používá pro výpočet interiérového osvětlení a Wdls se používá k výpočtům denního osvětlení. Druhým hlavním zástupcem je švýcarský program Relux a třetí je německý Dialux. Programy Relux a Dialux jsou uživatelsky přívětivější, umí modelovat interiérové i venkovní světlo. Další výhodou programu Dialux je, že je zdarma. Ostatní programy jsou také zdarma, ale s jistými omezeními jako například doba použitelnosti nebo omezení nějakých nabídek a možností výpočtu.

Všechny programy spolupracují se systémy CAD. Umožňují řešení sdruženého i nouzového osvětlení. Výpočty provádí dle platných norem. Výslednými výstupy z programu je model místnosti 2D nebo 3D s rozmístěním světelných zdrojů a světelných překážek, výpočet osvětlenosti, udržovacího činitele a činitele oslnění UGR. Dále programy pracují s databázemi svítidel českých i mezinárodních výrobců.

4 Modelování dynamického chování denního osvětlení

Modelování světelných podmínek je důležitou součástí návrhu budov. Výpočetní programy umělého osvětlení usnadňují práci projektantům. Díky modelům nedochází při realizaci a hygienickém měření k nesplnění norem a také nejsou místnosti zbytečně přesvětlovány. Modelování denního světla představuje důležitější roli. Jelikož venkovní osvětlení je závislé na ročním období, denní době a meteorologických podmínkách. Z tohoto důvodu je měření s denním světlem prakticky neuskutečnitelné. Měření činitele denní osvětlenosti ve vhodných podmínkách je možné provádět, jak již bylo zmíněno dvakrát až třikrát za rok. Jelikož podmínky jsou takto proměnlivé, pracujeme ve většině případů s modely [3].

Modelování příspěvku denního osvětlení je ve většině případů založeno na statistickém zpracování měsíčních, denních nebo v případě vysoké přesnosti hodinových dat. Naměřená a statisticky upravená data, ať už slunečního, difuzního nebo celkového ozáření zemského povrchu poskytují pravděpodobnostní informace o předpokládaném ozáření v daný časový interval [3].

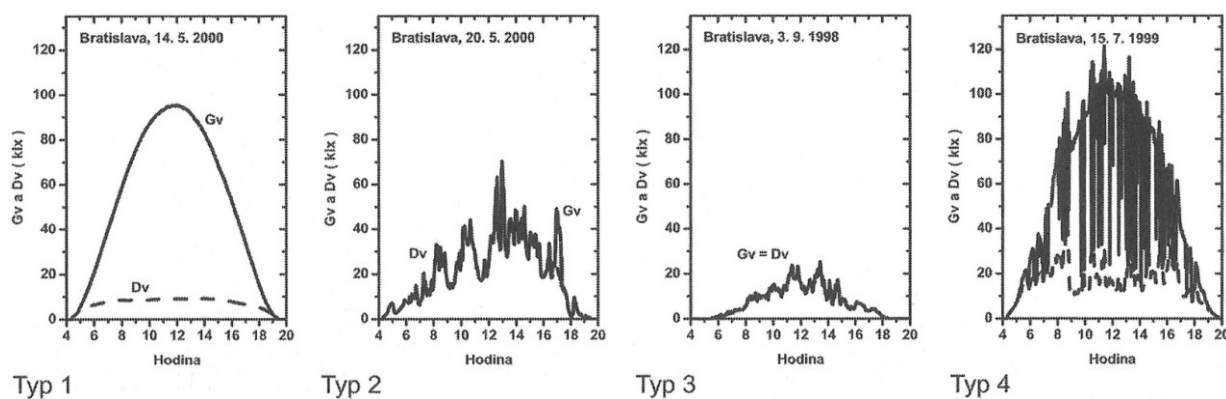
Pokud budeme modelovat denní osvětlení v budovách pomocí různých výpočetních programů, může se stát, že dojde k situaci, kdy výsledky jednotlivých výpočtů se budou lišit z důvodu použití různého výpočetního algoritmu a různých zdrojových statistických dat. Výpočtový algoritmus je ve většině případů dán přepočtem statistických hodnot ozáření zemského povrchu na osvětlenost pomocí světelné účinnosti [3].

Vznikem stanic CIE IDMP na čtyřech kontinentech (Evropa, Asie, Austrálie a Severní Amerika) se v roce 1992 razantně změnil výzkum dostupnosti denního světla. Nejvíce kompletní průběhy celodenních výsledků celkového G_v a difuzního D_v způsobených horizontální osvětleností v průběhu celého roku prezentovali v roce 2006 výzkumníci z akademie věd slovenské republiky Doc. Ing. Richard Kittler, DrSc. a Ing. Stanislav Darula, CSc. Porovnání jednotlivých dní ukazuje vysokou rozlišnost světla jak z časového hlediska výskytu, tak co do velikosti naměřených hodnot. Z výzkumu bylo zjištěno, že za období 1994 – 2006 nebyly nalezeny žádné dva dny se shodným průběhem celkové a difuzní osvětlenosti [3].

Z důvodu potřeby výpočtů spotřeby energií v budovách v určité lokalitě byly vytvořeny srovnávací data TMY (typický meteorologický rok). Tyto data byly, dále rozšířeny o difuzní a celkovou osvětlenost v takzvaných typických měsících. Typický měsíc je stanoven z databáze měření podle osvětlenosti, zenitního jasu a slunečního svitu. Takto podrobná data jsou již dostupná pouze pro

místa kde dochází k pravidelnému měření pomocí měřících stanic CIE IDMP. Tyto stanice jsou například umístěny v Bratislavě, Athénách, Hamburku, Moskvě a v mnohých dalších lokalitách na výše uvedených čtyřech kontinentech [3].

Jednodušší alternativa výpočtů předurčujících světelné klima je provedena způsobem, který se opírá o základní poznatky. Při prostupu světla atmosférou dochází k zeslabení difuzní složky. Tato složka odpovídá hodnotě D_v/E_v a v slunečních situacích i přímé složky P_v/E_v . Během roku se projevuje spousta světelných situací a posouzení každé by nebylo možné, proto se jako dostačující pro aproximaci při modelování celodenních venkovních osvětleností používají tyto čtyři základní situace [3].



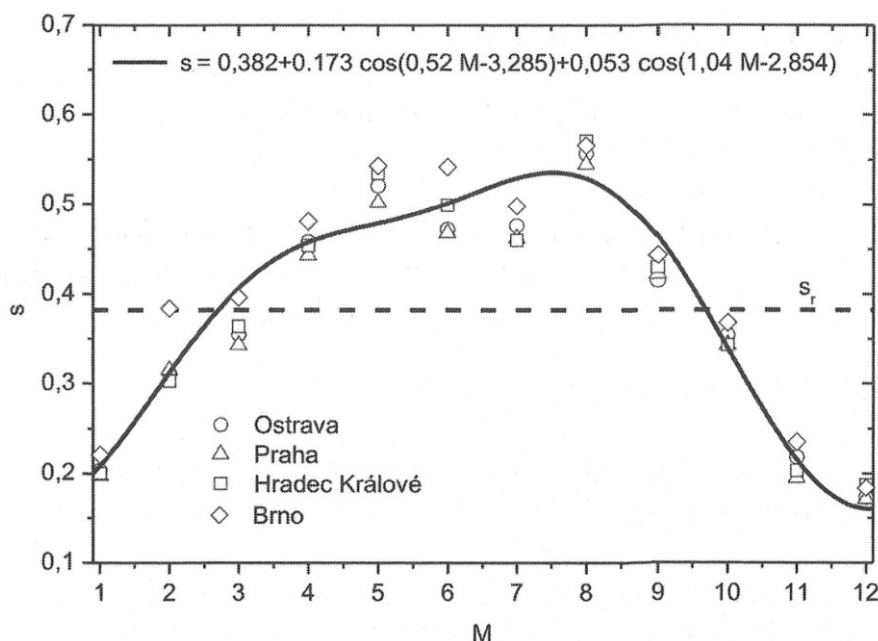
Obrázek 4.1: Typické průběhy denních osvětleností [3]

- 1) Jasný půlden s převládajícím dopoledním nebo odpoledním slunečním svitem nad 0,75.
- 2) Oblačný půlden s malým relativním odpoledním nebo dopoledním svitem mezi 0,01 - 0,75 s největším výskytem kolem 0,4.
- 3) Zatažený půlden bez slunečního svitu, maximum dopoledního nebo odpoledního svitu pod 0,01.
- 4) Půl den s častým střídáním period se slunečním světlem a bez něho vlivem pohybu oblaků, v rozsahu relativních svitů dopoledních nebo odpoledních mezi 0,01 - 0,75 s největším výskytem kolem 0,6.

Vstupními parametry zjednodušeného modelování jsou tedy čas a datum, nebo přímo z těchto dat vypočítávaná výška slunce, parametr D_{vm}/E_v je velikost difuzního světla pro zataženou oblohu a parametr T_{vm} pro slunečné situace. T_{vm} zde reprezentuje míru zákalu oblohy [3].

Na obrázku 4.2 je zobrazena křivka průběhu relativního slunečního svitu během jednoho roku vytvořená ze statistických údajů nashromážděných za 10 let. Rovnice uvedená v obrázku popisuje

matematicky tvar křivky. Hodnota 0,382 odpovídá průměrné relativní hodnotě slunečního svitu s_r pro Českou republiku a například pro Slovensko je tato hodnota stanovena na 0,42 [3].



Obrázek 4.2: Model celoročního relativního slunečního svitu v Čechách[3]

Tabulka 4.1: Koeficient propustnosti oblohového světla a světelného činitele zákalu [3]

Měsíc	Situační		
	Bez slunečního světla	Se slunečním světlem	
	DVm/EV	DVm/EV	Tvm
Leden	0,2	0,3	3,55
Únor	0,25	0,3	3,99
Březen	0,23	0,28	4,71
Duben	0,24	0,29	5,32
Květen	0,25	0,26	4,84
Červen	0,25	0,26	4,88
Červenec	0,24	0,26	4,86
Srpen	0,25	0,26	4,95
Září	0,24	0,26	4,52
Říjen	0,23	0,28	4,19
Listopad	0,2	0,29	3,95
Prosinec	0,18	0,3	3,48

Výpočet celkové denní osvětlenosti se skládá z osvětlenosti difuzní D_V a osvětlenosti přímé P_V . Níže uvedené výpočty respektují podmínky nezastíněné oblohy bez vlivu odraženého světla od fasád budov a terénu. Pro zatažený model je hodnota $P_V = 0$ a pro jasný den se provádí součet osvětleností podle vztahu 4.1 [3].

$$G_V = D_V + P_V \quad (4.1)$$

$$D_V = \left(D_{Vm}/E_V \right) \cdot E_{V0} \cdot \varepsilon \cdot \sin y_S \quad (4.2)$$

$$P_V = E_V \cdot e^{(-a_V \cdot m \cdot T_V)} \cdot \sin y_S \quad (4.3)$$

G_V – celková osvětlenost (lx)

D_V – difuzní osvětlenost (lx)

P_V – přímá sluneční osvětlenost (lx)

Y_S – výška slunce (°)

E_V – extraterestriální horizontální osvětlenost (lx)

D_{Vm}/E_V – koeficient propustnosti oblohového světla

a_V – extinkční koeficient (Clearův vztah)

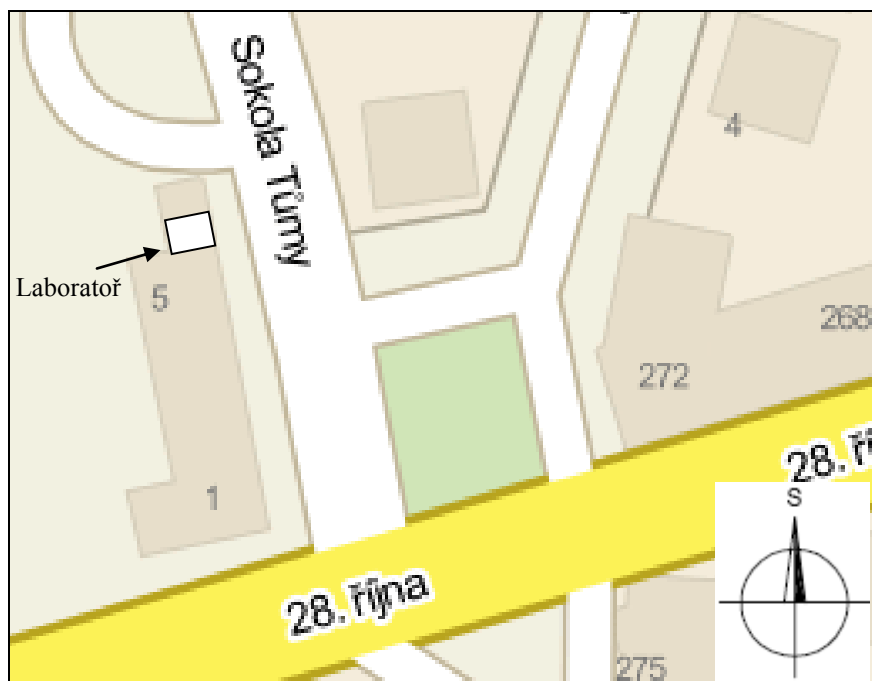
m – relativní optická tloušťka atmosféry

T_{Vm} – světelný činitel zákal

Tyto výpočty založené na statistických datech jsou podkladem pro výpočetní program řešící velikosti úspor elektrické energie vyvolané stmíváním interiérového osvětlení na stanovenou hranici osvětlenosti. Příklad části výsledků je uveden v kapitole 6 viz tabulka 6.1. S těmi to výsledky jsou prováděny další výpočty.

5 Místnost pro porovnání modelové a reálné situace

Laboratoř vznikla ve firmě Trimr s.r.o. v roce 2010. Tato místnost byla zřízena za účelem testování moderních inteligentních systémů používaných ve výstavbě. Převážně pro systém KNX z důvodu jeho robustnosti, kvalitního provedení a kompatibilitě zařízení různých výrobců díky zavedenému standardu. Standard KNX je definován normou CELENEC EN 50090 Elektronické systémy pro byty a budovy (HBES), ze které byly v roce 2007 některé části začleněny do celosvětové normy ISO/IEC 14543 Informační technologie - Architektura domácího elektronického systému (HES). Přesné umístění vzorové místnosti je tedy v budově ve třetím patře na adrese Sokola Tůmy 1536/5, Ostrava viz obrázek 5.1, 5.2 [7].



Obrázek 5.1: Mapa



Obrázek 5.2: Trimr s. r. o.

5.1 Popis laboratoře



Obrázek 5.3: Laboratoř

Jak již bylo zmíněno, laboratoř se nachází ve 3. nadzemním podlaží, rozměry místnosti jsou $4940 \times 4300 \times 2670$ mm. V laboratoři se nacházejí dvě skupiny oken s dvojitými skly, viz obrázek

5.3 a příloha I. V místnosti jsou bílé zdi i ostění, minerální strop a linoleová podlaha. Odrážnost a propustnost těchto ploch jsou uvedeny v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1: Propustnost oken a odrazivost ploch

Část	Tip	τ
Okna	čiré, dvojité	0,85

část	tip	ρ
stěny	bílé	0,5
podlaha	světle hnědá	0,35
strop	minerální rastr	0,65
ostění	bílé	0,5

V laboratoři je osvětlení řešeno pomocí čtyř zářivkových svítidel Zumtobel GED A 2/36W D BX o výkonu 2x36W, trubice 36W/840. V příloze I je nakreslen půdorys kde, je naznačeno rozmístění svítidel a k nim příslušných senzorů díky kterým je prováděno řízení na předem danou hladinu osvětlenosti.

Pro řízení osvětlení na konstantní hodnotu byly vybrány dva obdobné systémy od předních výrobců KNX na našem trhu, které umí řídit zářivkové svítidlo pomocí elektronického předřadníku přes digitálně adresovatelné světelné rozhraní (Digital Adressable Lighting Interface - DALI). Systém KNX/DALI Gateway N 141 se senzorem osvětlenosti Brightness Controller UP 255/11 je od firmy Siemens a druhý systém označený jako DALI Light Controller DLR/S 8.16.1M se dvěma senzory Light Sensor LF/U 2.1 od firmy ABB. Při porovnávání těchto dvou systémů se objevily tyto rozdíly: Systém od ABB má více možností typu řízení osvětlení, možnosti regulace podle různých typů křivek a další módy spínání, ale nevýhodou tohoto systému je, že senzor LF/U 2.1 není sběrníkový senzor, ale je přímo připojen do kontroléru. Z tohoto důvodu je cena senzoru LF/U 2.1 v porovnání s cenou senzoru UP 255/11 asi třetinová. Ve srovnání se systémem od ABB nemá systém Siemens tak rozsáhlé regulační možnosti, ale senzor je sběrníkový, což umožňuje jednodušší programování. Pokud by vznikl požadavek na přenos informace z čidla na velkou vzdálenost, muselo by být zvoleno sběrníkové čidlo z důvodu možnosti ztráty dat vlivem úbytku napětí nebo rušení [11,12]. Pro nadřazené funkce jako například záznam dat a časové spínání bylo použito programovatelné PLC Loxone. Toto PLC bylo vybráno díky jeho kompatibilitě se sběrnicí KNX [7].

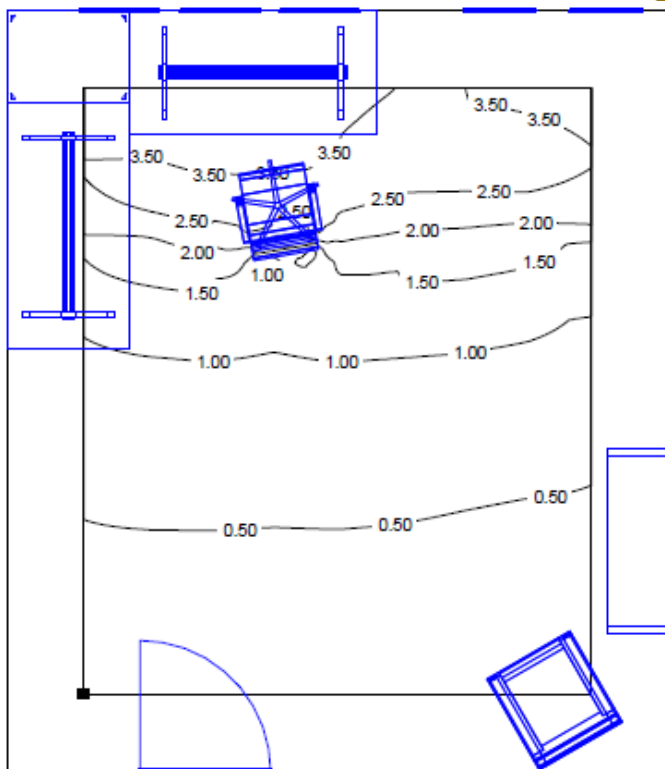
Pro následující výpočty pomocí softwaru Wdls byly vzaty v úvahu stínící možnosti okolních budov a stromů, naznačené v příloze I. Z těchto překážek byla vybraná pouze část těch, které budou mít značný podíl na omezení přístupu slunečního záření do laboratoře. Velikosti a vzdálenosti překážek byly ve většině případů odhadnuty, jelikož jejich měření by bylo velice komplikované z důvodu velké výšky, cizího vlastnictví a přístupu na cizí pozemky.

6 Světelně-technické výpočty vzorové místnosti

Výpočty v následujících třech bodech jsou prováděny z důvodu potřeby výstupních údajů pro konečný výpočet potenciálu energetických úspor v dané definované místnosti.

6.1 Činitel denní osvětlenosti

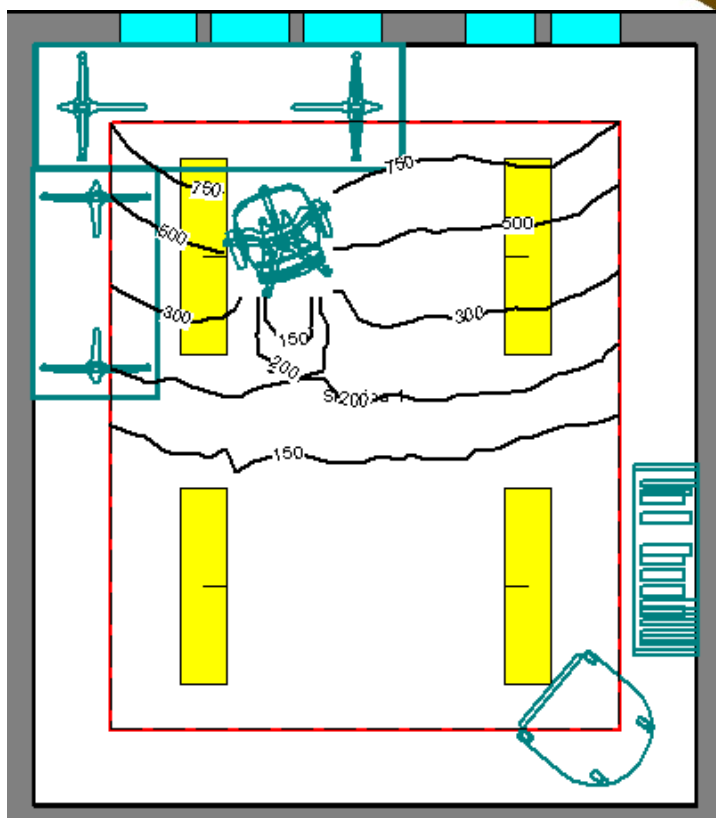
6.1.1 DIALUX



Obrázek 6.1a,1b: Dialux parametr D

Na obrázcích 6.1 je zobrazen výsledek výpočtu činitele denní osvětlenosti namodelovaný pomocí programu Dialux. Obrázek 6.1a znázorňuje 3D model prostupu denního světla do interiéru pomocí okenních otvorů. Na obrázku 6.1b jsou znázorněny izofoty. Izofoty jsou křivky spojující místa stejného osvětlení. Dříve se jim říkalo izoluxy. Při pohledu na izofoty je vidět že hodnota 1,5 která je minimálním požadavkem pro tento prostor předepsaným normou ČSN 73 0580-1 viz tabulky 2.7 a zabírá v podstatě celou plochu pracovního stolu. Ve zbylé části by vzhledem k normě neměl být umístěn žádný pracovní stůl.

6.1.2 RELUX



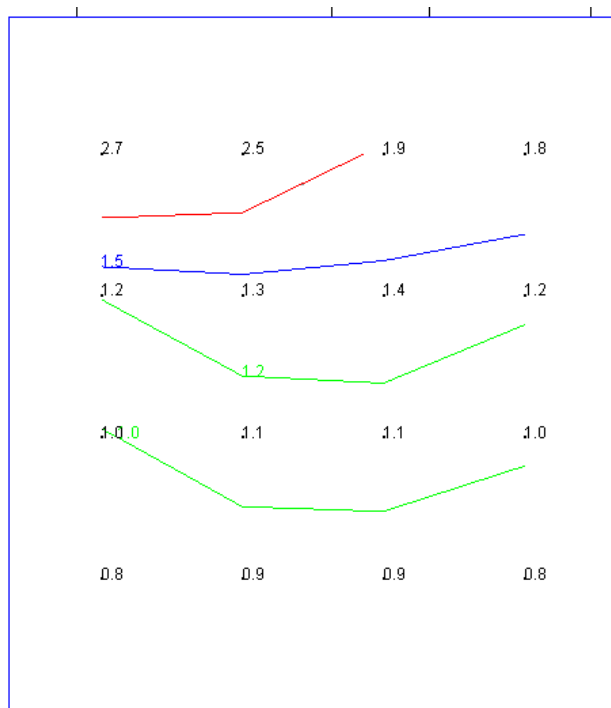
Obrázek 6.2a,2b: Relux parametr D

Na obrázcích 6.2 jsou zobrazeny vypočtené parametry činitele denní osvětlenosti v programu Relux. Jako v předchozím případě je zde zobrazen 3D model laboratoře s namodelovaným prostupem denního osvětlení do interiéru viz obrázek 6.2a. Na obrázku 6.2b je zobrazení odlišné od výsledků zobrazovaných programem Dialux. Izofoty zobrazují intenzitu osvětlení vstupující do interiéru za podmínky intenzity osvětlení venkovního prostoru 20000lx . Pro získání hodnoty parametru D musíme použít vzorec 2.1. Po výpočtu pomocí tohoto vzorce

dojdeme k zjištění že izofota

s hodnotou 300lx odpovídá $D = 1,5\%$ které je rozhodující pro místnost tohoto typu, viz tabulka 2.7.

6.1.3 Wdls



Obrázek 6.3: Wdls parametr D

Třetím v řadě je výpočetní program Wdls. Výhodou tohoto programu je možnost zadání venkovních stínících objektů, které následně program vezme v úvahu při výpočtu parametrů vstupujícího denního světla do prostoru. Nižší kvalita grafického zpracování než u předchozích dvou programů není uživatelsky tak lákavá. Výsledek na obrázku 6.3 je ale identický s předchozími dvěma případy. Obrázek zobrazuje hodnoty parametru D v přednastavené výpočtové mřížce a Izofoty propojující tyto hodnoty.

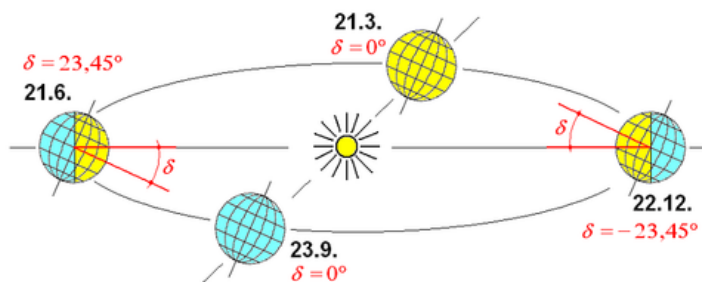
6.1.4 SROVNÁNÍ

Z grafického hlediska mají programy Relux a Dialux lepší kvalitu zpracování, která ale zase ovlivňuje dobu výpočtu a potřebný výpočetní výkon. Oproti tomu graficky minimalistický Wdls má výhodu v možnosti umísťování venkovních stínících překážek. Výsledky ze všech programů jsou obdobné. Jejich výpočty jsou založeny na parametrech a postupech obsažených v normě ČSN 73 0580-1.

6.2 Osvětlenosti vygenerované denním osvětlením (v dynamickém režimu)

Pro modelování osvětlení vstupujícího do prostoru se v dnešní době používá model rovnoměrně zatažené oblohy s intenzitou osvětlení 5 000 lx nebo 20 000 lx. Z důvodu proměnlivosti intenzit slunečního záření a tedy i příspěvku do vnitřních osvětlovacích soustav a z důvodu nerespektování intenzit jasů měnících se během roku tento model není vyhovující pro výpočet úspor energie. Z tohoto důvodu byl ve spolupráci s Vysokou školou báňskou v Ostravě navržen jiný model průběhu intenzity světla na venkovní nezastíněné rovině. Tento model pracuje také s rovnoměrně zataženou oblohou, ale s proměnlivou osvětleností během dne způsobenou změnou jasu a deklinací slunce způsobené pohybem země po oběžné dráze během roku. Deklinace slunce je zobrazena na obrázku 6.4. V tabulce 6.1 jsou zobrazeny hodnoty průměrné osvětlenosti venkovní nezastíněné

roviny s rozložením jasu 1:3 v klx pro měsíc únor. Tyto hodnoty a hodnoty pro další měsíce jsou dále použity jako podklad při výpočtech úspor elektrické energie pomocí stmívání [18].



Obrázek 6.4: Deklinace slunce [18]

Tabulka 6.1: Intenzity osvětlení venkovní nezastíněné roviny pro měsíc únor

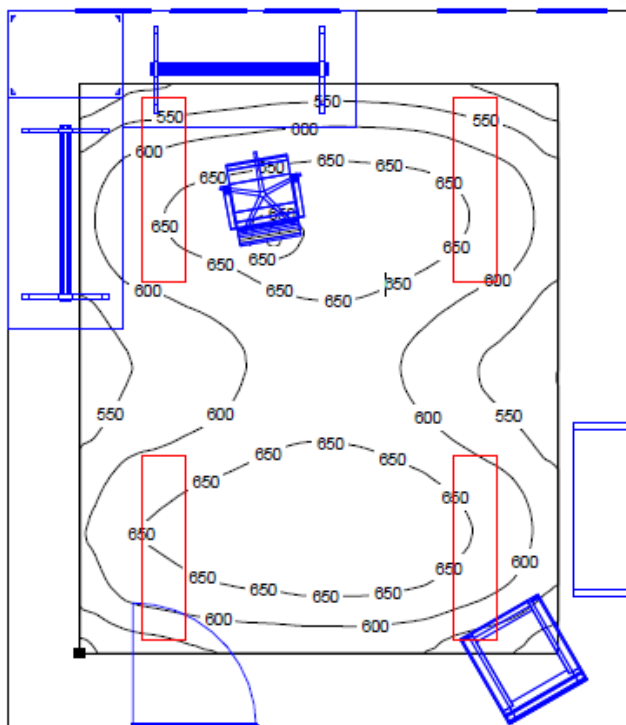
Den	Dv6,5	Dv7,5	Dv8,5	Dv9,5	Dv10,5	Dv11,5	Dv12,5	Dv13,5	Dv14,5	Dv15,5	Dv16,5
1. 2.	0,000	0,823	4,513	7,463	9,473	10,406	10,197	8,862	6,491	3,245	0,000
2. 2.	0,000	0,937	4,630	7,582	9,592	10,523	10,312	8,973	6,596	3,345	0,000
3. 2.	0,000	1,052	4,748	7,702	9,713	10,643	10,429	9,086	6,705	3,448	0,000
4. 2.	0,000	1,169	4,868	7,824	9,835	10,764	10,548	9,201	6,815	3,554	0,000
5. 2.	0,000	1,286	4,989	7,947	9,958	10,887	10,668	9,318	6,928	3,662	0,000
6. 2.	0,000	1,405	5,111	8,071	10,083	11,011	10,791	9,438	7,044	3,772	0,000
7. 2.	0,000	1,524	5,233	8,196	10,210	11,137	10,915	9,559	7,161	3,885	0,000
8. 2.	0,000	1,644	5,357	8,322	10,337	11,265	11,041	9,683	7,281	4,000	0,064
9. 2.	0,000	1,765	5,482	8,450	10,466	11,394	11,169	9,808	7,403	4,118	0,177
10. 2.	0,000	1,887	5,607	8,578	10,596	11,524	11,299	9,935	7,527	4,238	0,292
11. 2.	0,000	2,009	5,733	8,707	10,727	11,655	11,429	10,064	7,653	4,360	0,410
12. 2.	0,000	2,132	5,860	8,837	10,859	11,788	11,562	10,195	7,781	4,485	0,530
13. 2.	0,000	2,256	5,988	8,968	10,992	11,922	11,696	10,328	7,912	4,612	0,653
14. 2.	0,000	2,380	6,116	9,099	11,126	12,057	11,831	10,462	8,044	4,740	0,778
15. 2.	0,000	2,505	6,245	9,232	11,260	12,194	11,968	10,598	8,177	4,871	0,905
16. 2.	0,000	2,630	6,375	9,364	11,396	12,331	12,105	10,735	8,313	5,004	1,034
17. 2.	0,000	2,756	6,505	9,498	11,532	12,469	12,244	10,874	8,450	5,139	1,166
18. 2.	0,000	2,882	6,635	9,632	11,669	12,608	12,384	11,014	8,589	5,276	1,300
19. 2.	0,000	3,009	6,766	9,766	11,807	12,748	12,526	11,155	8,729	5,414	1,435
20. 2.	0,000	3,136	6,897	9,901	11,945	12,888	12,668	11,297	8,871	5,555	1,573
21. 2.	0,000	3,263	7,028	10,036	12,083	13,030	12,811	11,441	9,015	5,696	1,713
22. 2.	0,000	3,391	7,159	10,172	12,222	13,171	12,954	11,586	9,159	5,840	1,854
23. 2.	0,000	3,518	7,291	10,308	12,362	13,314	13,099	11,732	9,305	5,985	1,997
24. 2.	0,000	3,646	7,423	10,443	12,501	13,457	13,244	11,878	9,453	6,132	2,142
25. 2.	0,000	3,774	7,555	10,580	12,641	13,600	13,390	12,026	9,601	6,280	2,289
26. 2.	0,000	3,902	7,687	10,716	12,781	13,743	13,536	12,174	9,750	6,429	2,437
27. 2.	0,000	4,030	7,819	10,852	12,922	13,887	13,683	12,324	9,901	6,580	2,587
28. 2.	0,000	4,159	7,951	10,988	13,062	14,031	13,831	12,473	10,052	6,731	2,738

Údaje v tabulce byly vypočítány na základě rovnoměrně zatažené oblohy s gradací jasu 1:3 a poznatků vycházejících ze statistických dat zjištěných Akademií věd Slovenské republiky. Tyto hodnoty jsou dále použity při výpočtu úspor elektrické energie vlivem stmívání osvětlovacích soustav umělého osvětlení.

6.3 Umělé osvětlení

Při návrhu umělého osvětlení je nejdůležitější splnit průměrnou intenzitu osvětlení E_m a rovnoměrnost osvětlení r na srovnávací rovině. Tyto požadavky se vztahují k normě ČSN EN 12464-1 viz tabulka 2.7.

6.3.1 DIALUX



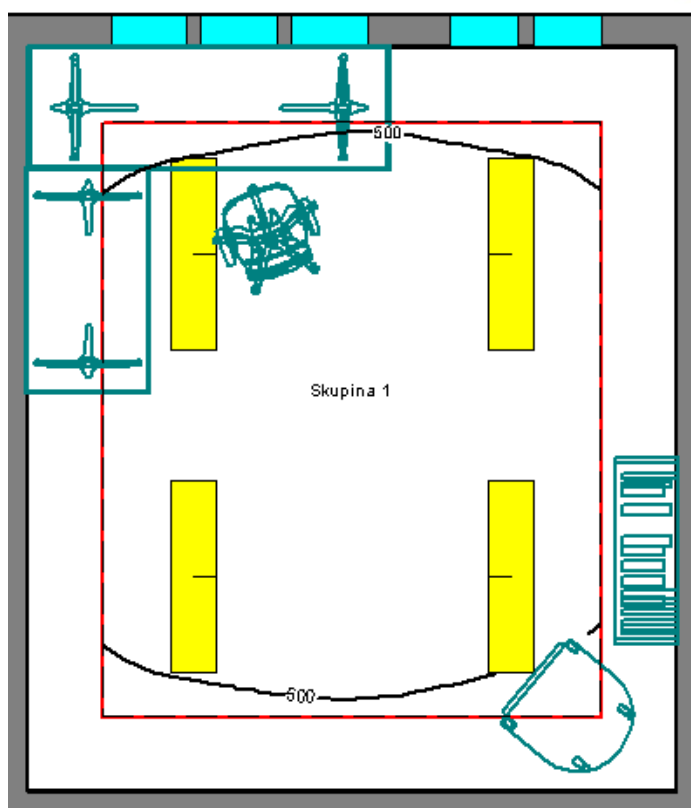
Obrázek 6.5a,4b: Umělé osvětlení Dialux

Na obrázku 6.4a je zobrazen 3D model laboratoře osvětlené umělým světlem ze čtyř zapuštěných stropních zářivkových svítidel. Izofoty vyplývající z výpočtu jsou zobrazeny na obrázku 6.4b. Shrnutí tohoto výpočtu je zobrazeno v tabulce 6.2. Průměrná intenzita osvětlení i rovnoměrnost přesahují minimální parametry dané normou.

Tabulka 6.2: Výpočet umělého osvětlení Dialux

Plocha	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	r [-]
Uživatelská úroveň	610	449	695	0.736

6.3.2 RELUX



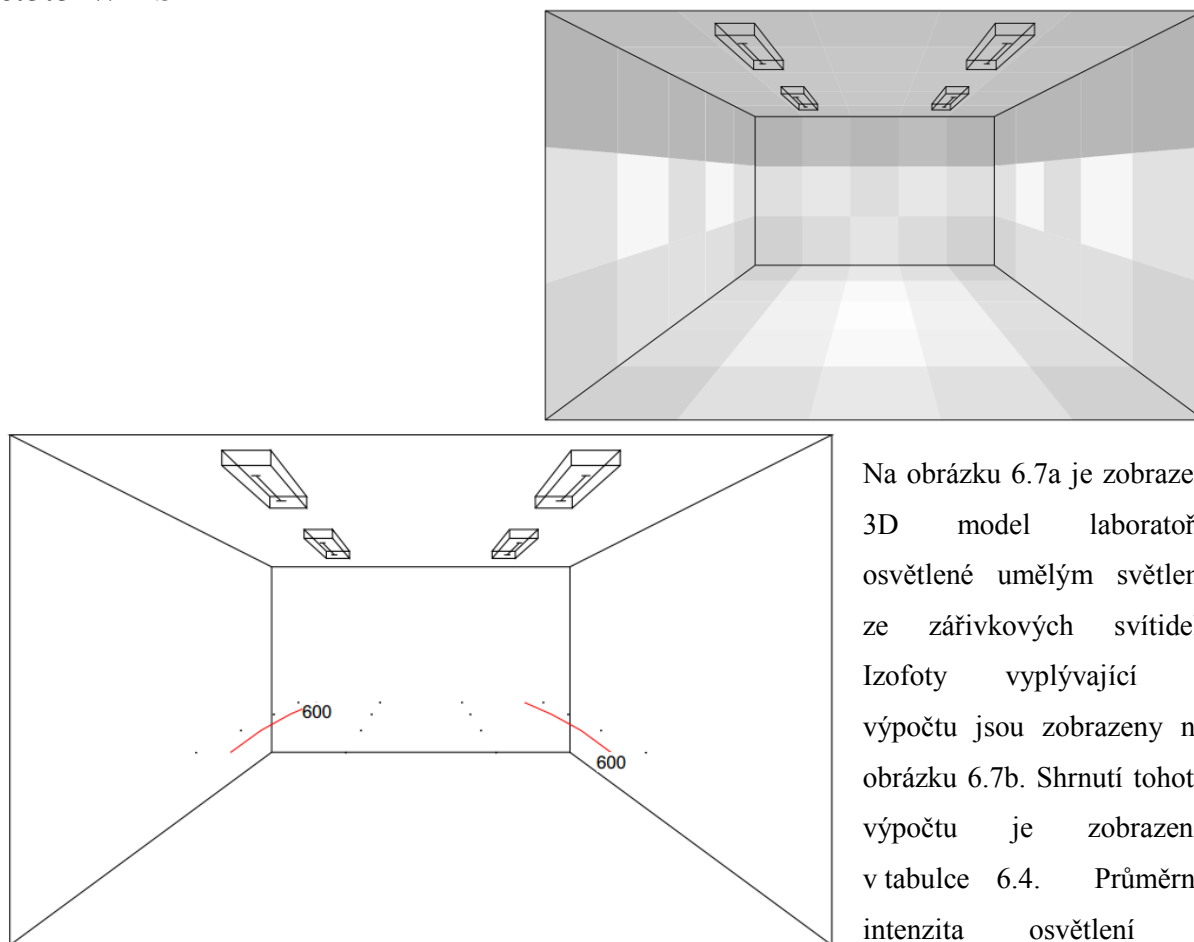
Na obrázku 6.6a je zobrazen 3D model laboratoře osvětlené umělým světlem ze zářivkových svítidel. Izofota vyplývající z výpočtu je zobrazena na obrázku 6.6b. Shrnutí tohoto výpočtu je zobrazeno v tabulce 6.3. Průměrná intenzita osvětlení i rovnoměrnost přesahují minimální parametry dané normou.

Obrázek 6.6a,6b: Umělé osvětlení Relux

Tabulka 6.3: Výpočet umělého osvětlení Relux

Plocha	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	r [-]
Uživatelská úroveň	605	444	704	0.73

6.3.3 WILS



Obrázek 6.7a,7b: Umělé osvětlení Wils

Na obrázku 6.7a je zobrazen 3D model laboratoře osvětlené umělým světlem ze zářivkových svítidel. Izofoty vyplývající z výpočtu jsou zobrazeny na obrázku 6.7b. Shrnutí tohoto výpočtu je zobrazeno v tabulce 6.4. Průměrná intenzita osvětlení i rovnoměrnost přesahují minimální parametry dané

normou.

Tabulka 6.4: Výpočet umělého osvětlení Wils

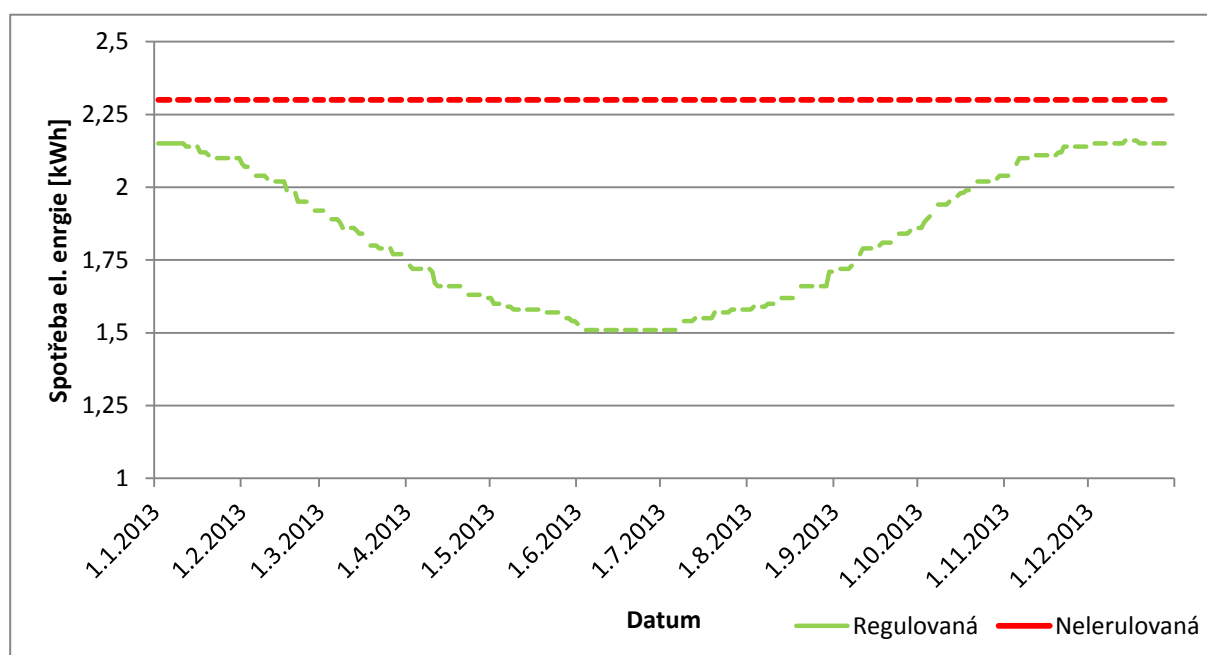
Plocha	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	r [-]
Uživatelská úroveň	638,6	571	707,2	0.89

6.3.4 SROVNÁNÍ

Při porovnání výsledků vypočtených třemi výše uvedenými programy je z obrázků patrné, že výpočty jsou shodné. Pokud budeme srovnávat tabulky 6.2, 6.3 a 6.4 dojdeme k závěru, že hodnoty v tabulkách 6.2 a 6.3 jsou v podstatě shodné. Hodnoty v tabulce 6.4 vypočtené programem Wils se liší. Důvodem tohoto rozdílu je umístění kontrolních krajních bodů 1m od zdi. U předchozích dvou výpočetních programů byly krajní body nastaveny 0,5m od zdi. Toto nastavení plní podmínky nad rámec normy ČSN EN 12464-1. Zde jsem chtěl demonstrovat jaký má při výpočtu nebo měření vliv správné zvolení srovnávací roviny.

6.4 Výpočty potenciálu energetických úspor

Pro výpočet potenciálu energetických úspor je vycházeno z osvětlenosti vygenerované denním světlem v průběhu dne a celého roku při rovnoměrně zatažené obloze. Rovnoměrně zatažená obloha byla vzata v úvahu z důvodu rozptýlení světelného toku díky difúzi. Z toho důvodu je možné eliminovat důležitost natočení osvětlovacího otvoru vzhledem ke světovým stranám. Dalo by se říci, že model počítá s nejhorší možnou variantou, která odpovídá místnosti natočené osvětlovacími otvory na sever a se zataženou oblohou. Tento důvod definuje výpočtově nejmenší možnou úsporu energie v dané místnosti. Reálně dosažená úspora energie může být pouze vyšší.



Obrázek 6.8: Model potenciálu úspor vzorové místnosti

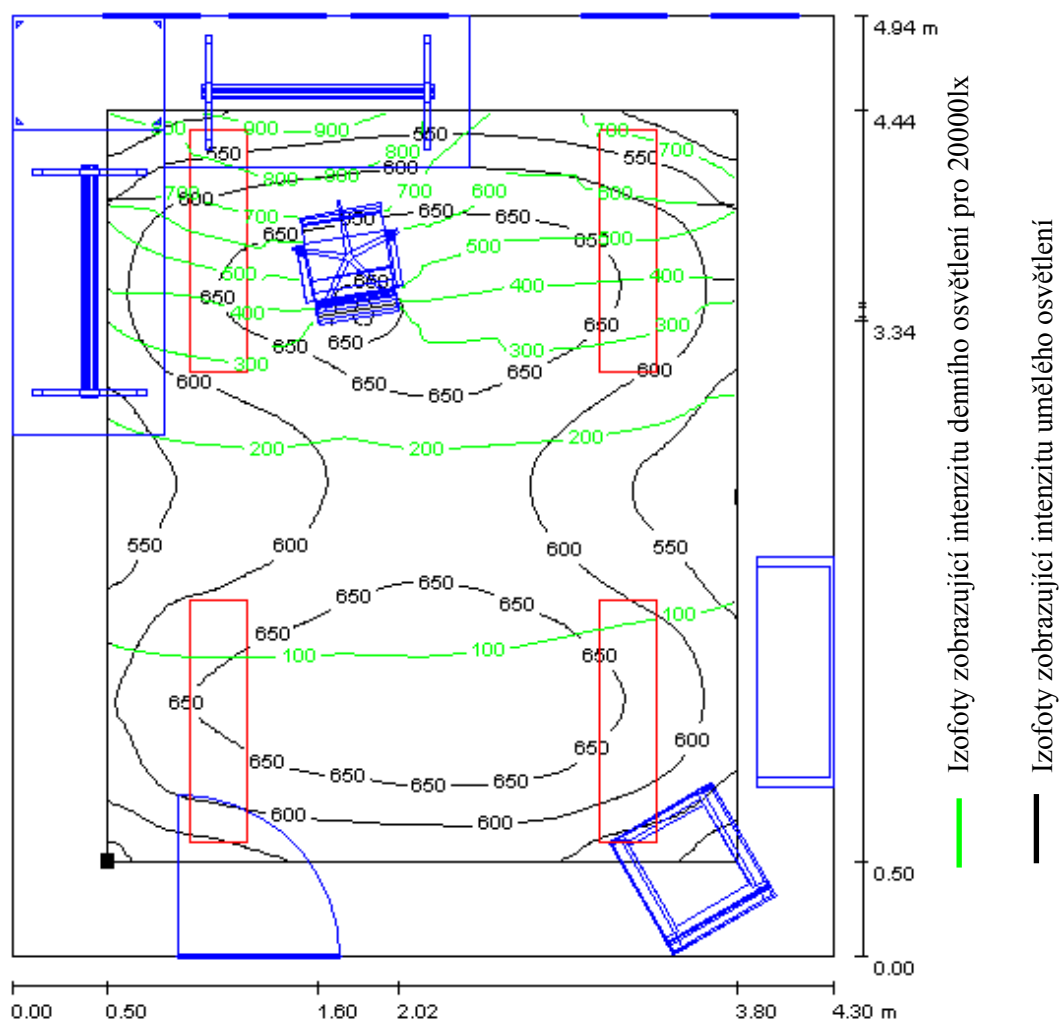
Na obrázku 6.8 je vykreslena červená křivka. Tato křivka zobrazuje hodnotu spotřebované el. energie ve vzorové místnosti během roku při zapnuté osvětlovací soustavě od 7:00 do 15:00. Oproti tomu zelená křivka zobrazuje zapnutí svítidel ve stejném časovém intervalu, ale za použití stmívání osvětlení řídicím systémem reagujícím na aktuální příspěvky denního světla do osvětlovací soustavy.

Tabulka 6.5: Nastavení teoretické řízení

E_{ext} (lx)	Řada 1	Řada 2
1000	100%	100%
5000	100%	90%
7000	90%	90%
10000	90%	80%
20000	70%	50%
25000	60%	40%

Hodnoty v tabulce 6.5 jsou hodnoty zvolené programem pro výpočet úspor. Hodnota E_{ext} představuje intenzitu venkovního osvětlení na nezastíněné rovině. K této hodnotě byl programem podle parametrů místnosti vypočítán potřebný výkon jednotlivých světelných řad tak, aby bylo kombinovaným osvětlením dosaženo konstantní hodnoty osvětlení v místnosti 500lx. Řada 1 představuje řadu dále od oken a řada 2 řadu u oken.

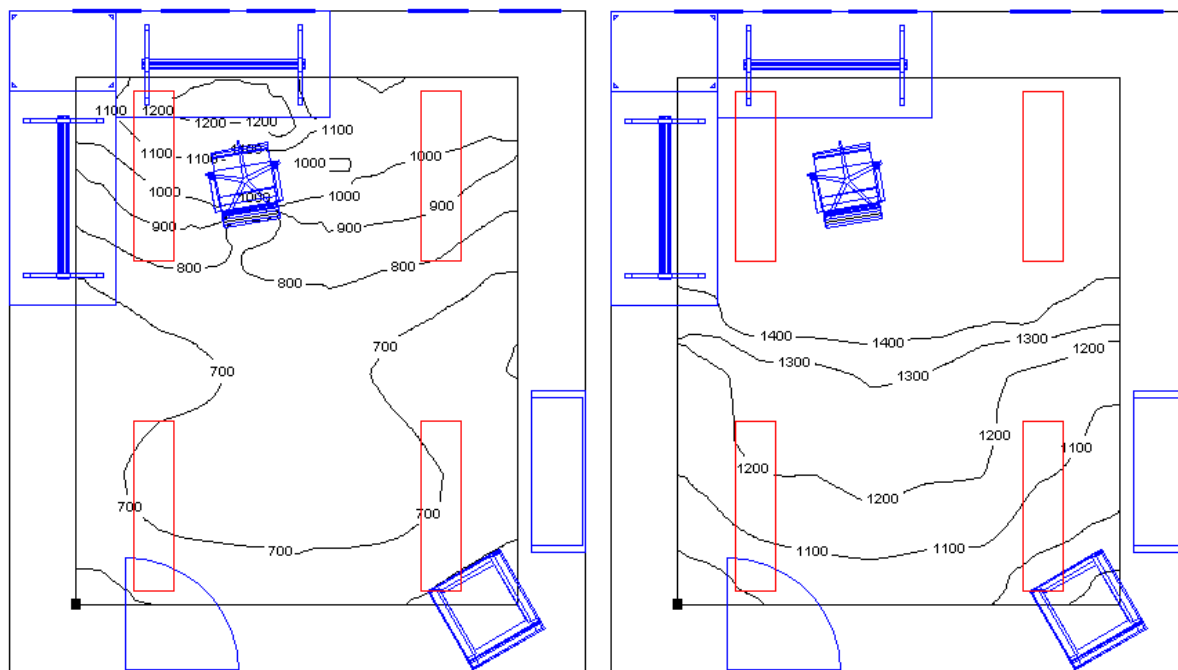
Dalšími podstatnými vlivy vstupujícími do výpočtu potenciálu úspor jsou parametry místnosti. Jako je šířka a délka místnosti, tvar místnosti, počet a velikost osvětlovacích otvorů, typ použitých svítidel v interiéru, světelné zdroje použité ve svítidlech a typ řízení osvětlovací soustavy. Potenciál úspor je nutné řešit pro každou aplikaci individuálně. Není možné stanovit obecnou hodnotu úspor při použití inteligentního řízení osvětlovací soustavy. Na obrázku 6.9 je zobrazeno překrytí namodelované místnosti s denním a umělým osvětlením. Tento obrázek názorně vysvětluje možnosti úspor vlivem řízení.



Obrázek 6.9: Možnosti úspor vlivem řízení osvětlení

Na obrázku vidíme černé izofoty, které zobrazují intenzity osvětlení na srovnávací rovině vyvolanou pouze umělým osvětlením a zelené izofoty vykreslující intenzitu osvětlení na srovnávací rovině vytvořenou venkovním denním osvětlením při rovnoměrně zatažené obloze a intenzitě 20 000 lx. Na následujících obrázcích jsou zobrazeny dva mezní případy neřízené osvětlovací soustavy. Na levém obrázku (obrázek 6.10) jsou zobrazeny sečtené hodnoty z obrázku 6.9. Výsledné izofoty představují vypočtené hodnoty pro rovnoměrně zataženou oblohu s intenzitou 20 000lx a doplněné o intenzity osvětlení vytvořené umělým osvětlením. Aby bylo možné říci, že je toto nejhorší možný případ, byl výpočtový program nastaven na zimní slunovrat 21. 12., který vlivem deklinace země a sluce je nejnejpříznivějším dnem v roce. Pravý obrázek (obrázek 6.11) představuje nejlepší možné podmínky z hlediska intenzity osvětlení ve vzorové místnosti. Soustava umělého osvětlení svítí na 100% a do prostoru vstupuje přímé sluneční světlo z jasné oblohy. Zde byl výpočet nastaven na letní slunovrat a 21. 6. 7:00. V tomto výpočtu hraje přesný čas důležitou roli, jelikož vzorová místnost je natočena na východ. Z tohoto důvodu v tuto ranní hodinu dopadá do místnosti největší množství přímého slunečního záření.

— Izofoty kombinovaného osvětlení (venkovní a umělé)

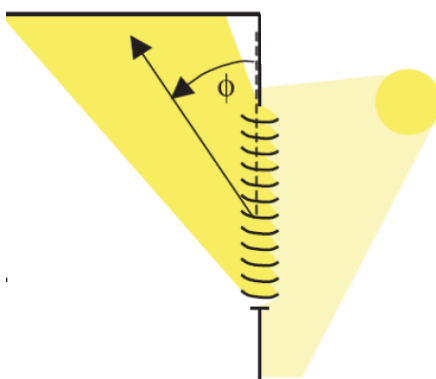


Obrázek 6.10,11: Modely hraničních situací kombinované osvětlení

Tyto obrázky byly vytvořeny v programu Dialux, a uvádím je zde z důvodu názorného porovnání dvou mezních situací, do kterých se místnost osvětlovaná pomocí kombinovaného osvětlení může dostat. Tyto stavy byli impulzem pro myšlenku stmívání osvětlovacích soustav umělého

osvětlení na konstantní hladinu osvětlenosti. Z obou obrázků je patrné, že z hlediska úspor energie je vhodné použít nějaký inteligentní řídicí systém, který zreguluje výkon osvětlovací soustavy. Jelikož je vzorová místnost definována jako laboratoř (kancelář), bylo by vhodné kvůli jejímu geografickému natočení z důvodu výskytu osob převážně v dopoledních hodinách instalovat nějaký stínící prvek, který by omezoval složku dopadajícího přímého slunečního záření. Například žaluzie nebo rolety.

Stínící systémy je možné také automaticky řídit v závislosti na venkovních světelných podmínkách, poloze a výšce slunce. Některé typy žaluzií používají odrazné plochy na lamelách k usměrnění dopadajícího světelného toku požadovaným směrem. Díky této funkci v místnosti omezíme oslňující přímé osvětlení, které přeměníme na difuzní osvětlení. Názorný příklad obrázek 6.12. Takovéto inovace zvyšují úsporu energie v budovách a uživatelský komfort [7].



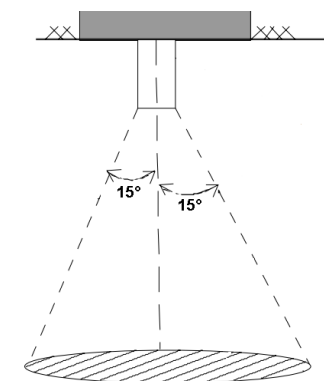
Obrázek 6.112: Stínící systém[7]

7 Měření osvětlení ve vzorové místnosti

Při měření reálného stavu smívání ve vzorové místnosti v návaznosti na spotřebu elektrické energie byly naměřeny minutové údaje, které jsou dále zpracovány. Naměřené údaje jsou dvojího typu. Všechny data byly naměřeny v laboratoři ve firmě Trimr s.r.o..

7.1 Principy stmívání umělé osvětlovací soustavy

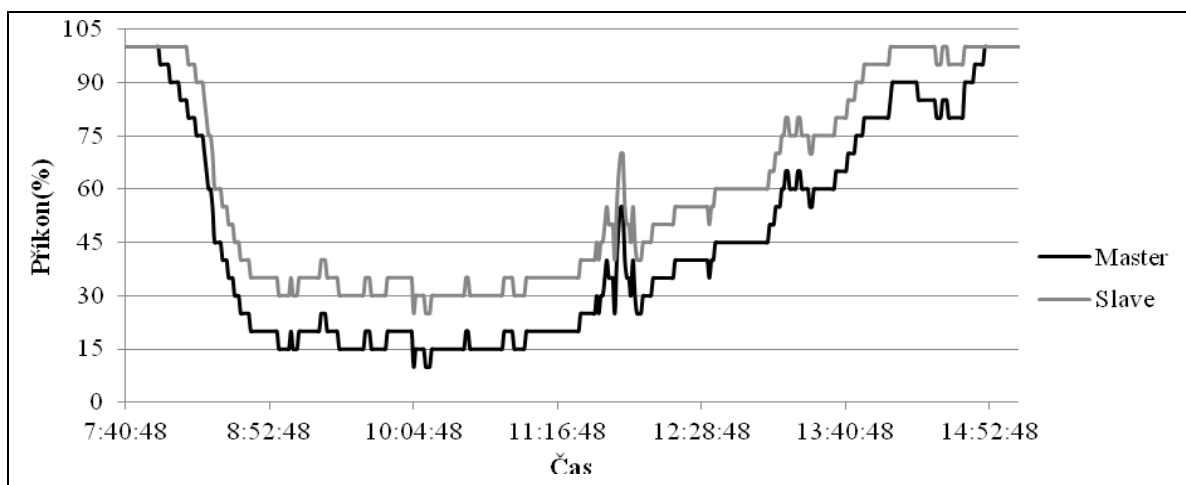
První část dat byla pořízena jako podklad mé bakalářské práce, ale z těchto dat byl využit pouze vzorek. Data jsou z období od 1. 12. 2010 do 14. 4. 2011, zpočátku byly měřeny od sedmé hodiny ranní do sedmé večerní. Z důvodu zbytečného svícení bez projevu příspěvku denního světla byl upraven interval na čas od 7:00 do 17:30. Stmívání zářivkových svítidel v místnosti bylo prováděno pomocí DALI předřadníku. DALI předřadník byl řízen KNX aktorem KNX/DALI Gateway N 141 a jedním sběrníkovým senzorem Brightness Controller UP 255/11. Sběrníkový senzor UP 255/11 snímá intenzitu osvětlení na pracovní ploše dané kuželem podle obrázku 7.1. Tento kužel je možno nasměrovat pomocí seřiznutí senzorové tyčky [14].



Obrázek 7.1: Kužel určující snímanou pracovní plochu [14]

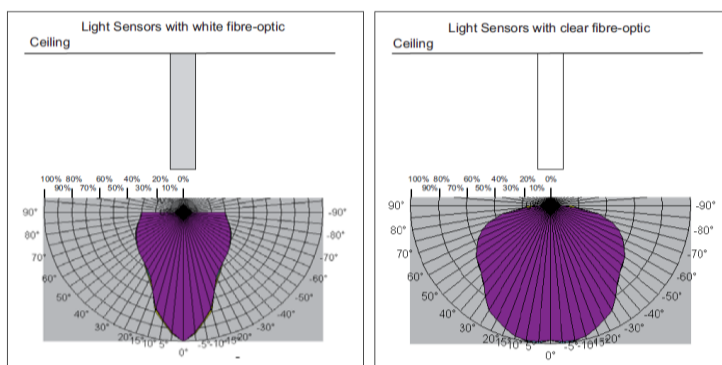
Světelné řady byly nastaveny na dvě úrovně. Řada u oken byla nastavena jako master (pán) a druhá řada byla nastavena jako slave (otrok). Čidlo UP 255/11 bylo umístěno na stropě, viz příloha I půdorys. Z tohoto čidla informace o osvětlenosti byly zasílány do aktoru a jím byl vyhodnocen požadovaný výkon zářivek v řadě master. Regulace výkonu zářivek není plynulá, je prováděna s minimálním krokem 5%. Řada slave byla nastavena tak, aby svítila o 15% více než řada master z důvodu jejího umístění dále od oken. Toto nastavení bylo provedeno z důvodu omezených regulačních možností daného aktoru. Na ukázkou jsem vybral jeden z měřených dní, jemuž odpovídá

graf na obrázku 7.2. V tomto grafu je vidět jak průběh řady master blíže u oken je stínován průběhem slave při regulaci během dne.



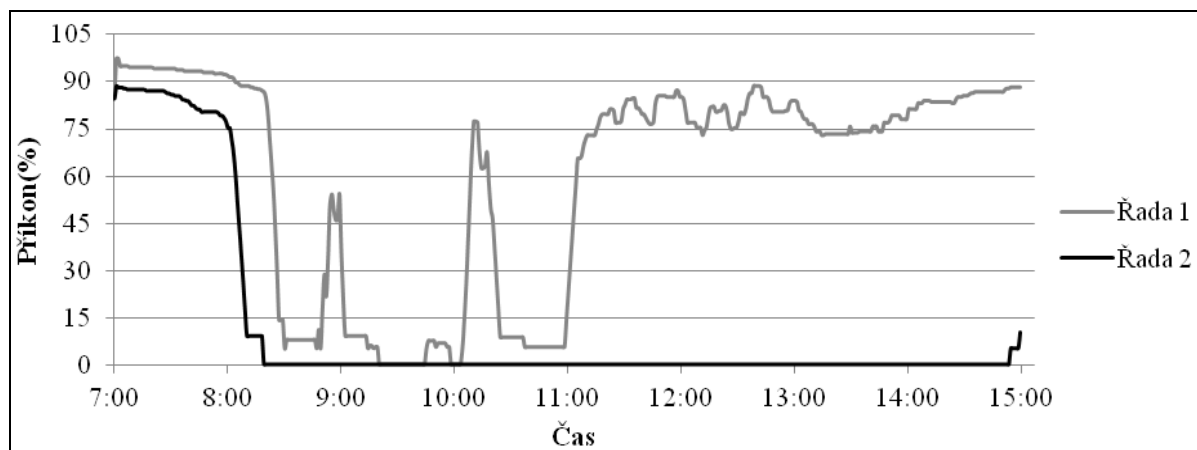
Obrázek 7.2: Průběh regulace zářivkových svítidel 2. 12. 2010

Druhá část dat byla pořízena pro porovnání. Data jsou z období od 30. 1. 2013 do 6. 3. 2013. Tyto data byly měřeny od sedmé hodiny ranní do patnácté hodiny z důvodu toho, aby co nejlépe korespondovali s pracovní dobou v kanceláři. V tomto případě byla regulace rovněž zajištěna pomocí elektronických DALI předřadníků pouze s tím rozdílem, že jako řídicí člen byl použit KNX aktor DALI Light Controller DLR/S 8.16.1M. Informace do aktoru byly předávány ze dvou na sobě nezávislých senzorů Light Sensor LF/U 2.1 umístěných na stropě viz půdorys příloha I. Tento senzor má k dispozici dvě senzorové tyčinky, které přenášejí světlo na čip. Tyto tyčinky mají různou charakteristiku snímání pracovní plochy, viz obrázek 7.3. Podle požadavků instalace je zvolena tyčinka, která zabírá intenzitu osvětlení prostorovou nebo jako v našem případě je možné použít tyčinku, která zabírá víceméně intenzitu světla spíše bodovou [13].



Obrázek 7.3: Charakteristiky snímání intenzity osvětlení[13]

Jelikož byla použita dvě nezávislá čidla, máme nyní zářivková svítidla v obou řadách nastaveny jako master. Oproti předchozí regulaci zde je použita regulace v podstatě plynulá s krokem 0,1%. Z důvodu hospodárnosti byla navíc omezena spodní hranice regulace na 5 % příkonu svítidla. Na obrázku 7.4 je zobrazen graf regulace osvětlení pomocí výše zmíněných dvou čidel. Řada 2 je řada svítidel umístěná blíže k oknům a řada jedna je řada vzdálenější.



Obrázek 7.4: Průběh regulace zářivkových svítidel 1. 2. 2013

Při porovnání grafů regulací jednotlivých typů řízení vyplývá, že řízení pomocí dvou čidel daleko více koresponduje s požadavky místnosti na přisvětlení pomocí umělého osvětlení. Jak je vidět na obrázku 7.4 od jedenácté hodiny, kdy vzhledem k natočení okem místnosti přestává dopadat přímé sluneční záření je nucena řada 1 umístěná dále od okna svítit průměrně na 80 %. Oproti tomu řada 2 je vypnutá z důvodu dostatečného zásobení difuzním světlem.

7.2 Chování osvětlovací soustavy v různých režimech

Rovnoměrnost osvětlení je parametr, který je velice ovlivněný denním světlem vstupujícím do místnosti a samotným návrhem osvětlovací soustavy. Níže jsou uvedeny tabulky naměřených hodnot, viz tabulka 7.1, při různých typech počasí a různé denní době. Z těchto hodnot je vypočítána průměrná intenzita osvětlení E_m a rovnoměrnost r podle vztahu 2.1 uvedeného v kapitole 2.4.

Intenzity osvětlenosti byly změřeny pomocí luxmetru ve výšce 0,85m nad podlahou místnosti ve zvoleném rastru. Z naměřených dat vyplývá, že průměrná hodnota osvětlenosti při regulaci nedosahuje normou ČSN EN 12464-1 stanovenou hodnotu pro kancelářské prostory 500lx. Tento nedostatek je způsoben tím, že při programování řídicího systému jsem nastavil parametry tak, aby bylo dosaženo hodnoty 500lx v místě pracovního úkolu. Tomuto nastavení odpovídá také volba světlovodných tyčinek umístěných ve stropních čidlech osvětlení.

Tabulka 7.1: Rovnoměrnosti měření

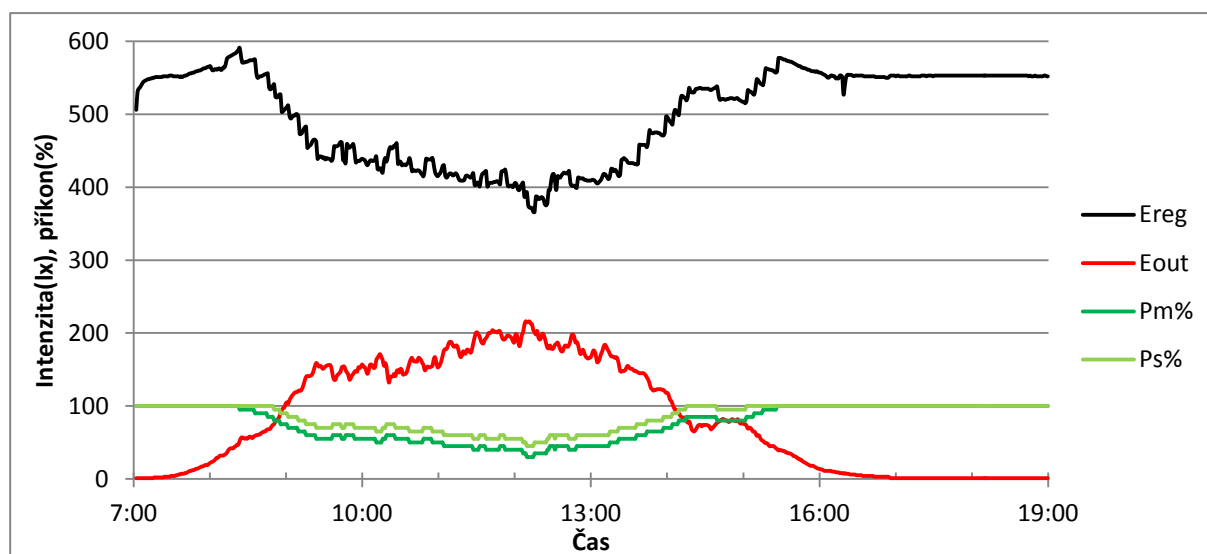
Zataženo 13:20			Šero 7:00			Zataženo 11:30			Východ slunce 7:15		
340 lx	407 lx	285 lx	317 lx	435 lx	290 lx	553 lx	560 lx	470 lx	446 lx	305 lx	326 lx
342 lx	482 lx	349 lx	368 lx	545 lx	387 lx	352 lx	381 lx	374 lx	360 lx	520 lx	350 lx
420 lx	550 lx	385 lx	471 lx	604 lx	415 lx	373 lx	370 lx	263 lx	335 lx	320 lx	260 lx
276 lx	353 lx	262 lx	307 lx	350 lx	237 lx	256 lx	281 lx	210 lx	320 lx	339 lx	252 lx
Em = 371 lx r= 0,71			Em = 394 lx r= 0,60			Em = 370 lx r= 0,57			Em = 344 lx r= 0,73		
Jasno 9:00 (slunce)			Jasno 11:30 (bez slunce)			Jasno 12:00 (bez slunce)			Jasno 14:40 (bez slunce)		
1550 lx	1270 lx	1192 lx	449 lx	438 lx	400 lx	425 lx	413 lx	375 lx	328 lx	340 lx	293 lx
790 lx	830 lx	792 lx	358 lx	405 lx	340 lx	354 lx	410 lx	333 lx	321 lx	399 lx	323 lx
503 lx	541 lx	530 lx	370 lx	400 lx	320 lx	369 lx	418 lx	318 lx	360 lx	430 lx	325 lx
387 lx	403 lx	360 lx	260 lx	293 lx	222 lx	260 lx	287 lx	248 lx	273 lx	306 lx	249 lx
Em = 762 lx r= 0,47			Em = 355 lx r= 0,63			Em = 351 lx r= 0,71			Em = 329 lx r= 0,76		
Tma vše na 100%			Tma s regulací								
611 lx	904 lx	617 lx	361 lx	560 lx	449 lx						
688 lx	1027 lx	711 lx	435 lx	613 lx	453 lx						
675 lx	978 lx	664 lx	430 lx	560 lx	450 lx						
418 lx	580 lx	384 lx	350 lx	362 lx	320 lx						
Em = 688 lx r= 0,56			Em = 445 lx r= 0,72								

Vypočítané rovnoměrnosti z naměřených intenzit osvětlení se ve většině případů pohybují v blízkosti nebo nad hodnotou $r=0,6$. Hodnota pro tento prostor je stanovena normou ČSN EN 12464-1 na $r = 0,6$ pro umělé osvětlení a doporučená hodnota rovnoměrnosti pro denní osvětlení je vyšší než $r = 0,2$ podle normy ČSN 73 0580-1. Jelikož normou stanovená hodnota pro kombinované osvětlení není definována a většina vypočtených výsledků se pohybuje v blízkosti nebo nad minimální požadovanou hodnotou pro umělé osvětlení. Doufám si tvrdit, že kombinované osvětlení vyhovuje z hlediska rovnoměrnosti pro většinu různých světelných režimů. Pro případ jasné oblohy s přímým dopadajícím slunečním zářením bych doporučil použít nějaký stínící systém.

Je zřetelné, že řízení osvětlení je účelné, jelikož podle měření bez regulace je patrné, že je místnost přesvětlena a také hodnota rovnoměrnosti nesplňuje výše uvedené požadavky. Z toho vyplývá, že základní úspora energie vzniká už samotným regulováním soustavy i bez denního světla. Světelná soustava provozována na 100% osvětluje místnost na průměrných 688lx a to je z hlediska úspor nežádoucí. A také díky regulaci se zlepšila rovnoměrnost osvětlení v místnosti z $r=0,56$ na $r = 0,72$. Příčina přesvětlenosti místnosti při aktivaci osvětlení na 100% je způsobena již návrhem osvětlovací soustavy. Tento jev je způsoben návrhem osvětlovací soustavy a započítáním udržovacího činitele. Tento koeficient se používá pro naddimenzování osvětlovací soustavy, aby plnila požadované parametry i během životnosti svítidla.

7.3 Shrnutí naměřených dat ve vzorové místnosti

Při měření první a druhé série dat došlo k malým změnám měřených hodnot a způsobu řízení. Při prvním dlouhodobém měření byly zaznamenávány hodnoty regulace jednotlivých řad, intenzita osvětlení v místnosti, spotřebovaná elektrická energie a intenzita přispívajícího venkovního osvětlení. Tato intenzita byla měřena v druhé místnosti bez zapnutí umělého osvětlení, aby bylo možné vyčíslit velikost příspěvku denního světla do regulované soustavy, viz referenční místnost obrázek 5.2. Na obrázku číslo 7.5 je znázorněn graf naměřených hodnot během jednoho dne.

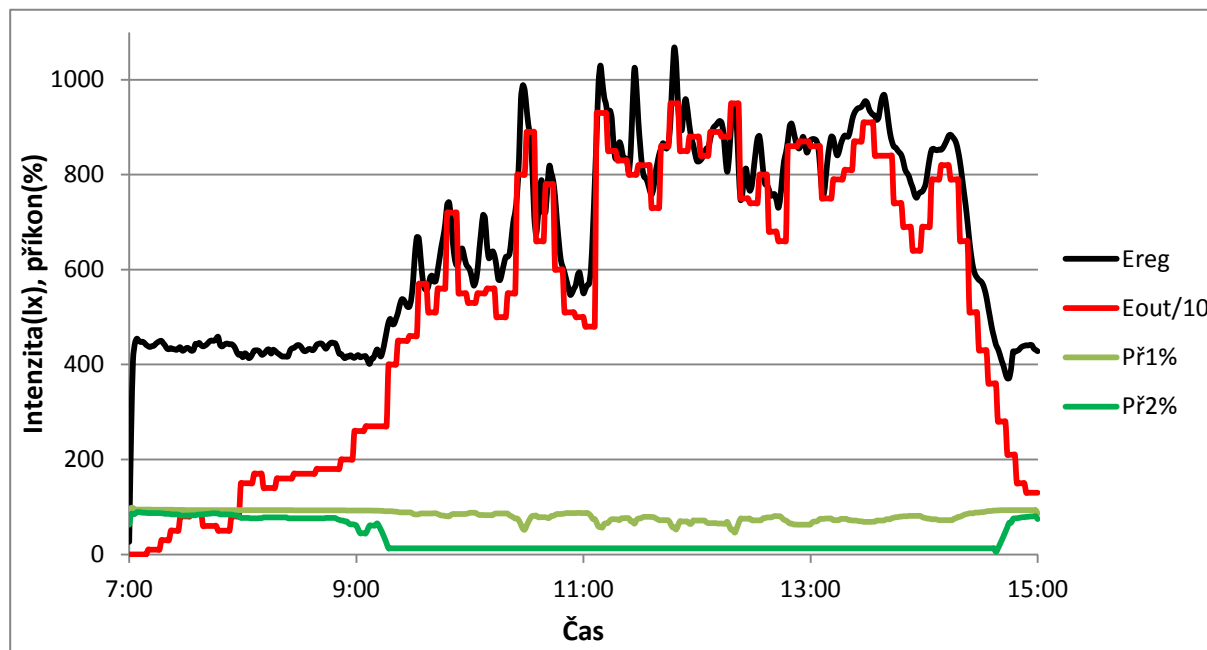


Obrázek 7.5: Denní průběh intenzit záření a příkonu z 24. 1. 2011

V grafu jsou pomocí zelených barev zakresleny průběhy procentuelního příkonu do zářivkové soustavy. Řada master $P_{m\%}$ ležící v blízkosti okna a zářivková řada slave $P_{s\%}$ vzdálenější od okna. Červená křivka E_{out} zobrazuje příspěvek denního osvětlení do řízené soustavy a černá křivka E_{reg} zobrazuje intenzitu osvětlení v laboratoři, kde probíhá řízení na stanovenou konstantní intenzitu osvětlení. U této křivky je patrný významný pokles intenzity osvětlení při nárůstu venkovního příspěvku. Tato situace je způsobena zvýšeným jasnem v prostoru snímaném čidlem. Částečná eliminace tohoto jevu by se dala provést přesunutím stropního čidla na druhou stranu místnosti, která je hlediska světových stran méně ozařovaná přímým slunečním zářením.

V druhé sérii dat byly naměřeny obdobné parametry pouze s tím rozdílem, že není měřena intenzita venkovního osvětlení v referenční místnosti, ale je měřena venkovním čidlem umístěným venku na fasádě mezi okny ve svislé poloze viz obrázek 5.2 meteorostanice. Hodnoty z meteorologické stanice jsou velice nepřesné z důvodu použitého měřicího čidla Loxone které slouží pouze k měření orientačních údajů. Tento typ čidla se používá pro inteligentní systémy v rodinných domech, kde slouží

pouze k řízení například žaluzií, závlahy pozemku nebo květin. Na obrázku 7.4 je hodnota z tohoto venkovního čidla znázorněna v desetinné hodnotě, jelikož venkovní intenzity jsou vysoké a graf by byl nepřehledný.



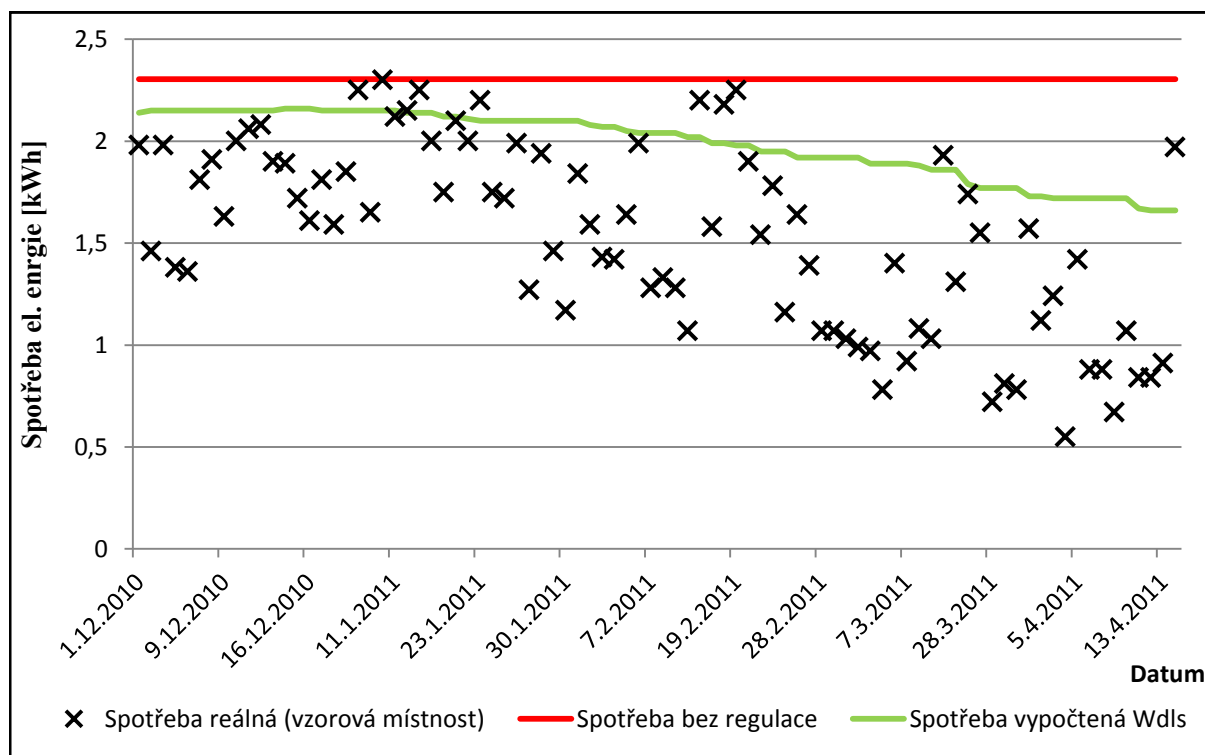
Obrázek 7.6: Denní průběh intenzit záření a příkonu z 24. 2. 2013

V tomto grafu jsou opět pomocí zelených barev znázorněny procentuelní příkony světelných řad. Příkon řady 1 $P_{r1\%}$ odpovídá řadě slave z prvního měření a příkon řady 2 $P_{r2\%}$ odpovídá řadě master. Červená křivka E_{reg} vyjadřuje vnitřní intenzitu osvětlení řízenou pomocí zářivkových svítidel a černá křivka $E_{out/10}$ vykresluje desetinou hodnotu venkovní intenzity slunečního záření. Z grafu je patrné, že do místa měření vnitřní intenzity dopadalo přibližně deset procent slunečního záření dopadajícího na svislou rovinu budovy. Od tohoto se také odvíjí procentuelní příkon jednotlivých světelných řad.

Na dvou obrázcích vložených jako příloha II. a III. jsou zobrazeny grafy. Tyto grafy zobrazují vztahy jednotlivých měřených veličin v dlouhodobějším hledisku. Příloha číslo II. zobrazuje graf z první série měření. Příloha číslo III. zobrazuje graf z druhé série měření. Na obou grafech je vidět, že v období ledna a února je sluneční aktivita na nízké úrovni, ale i v těchto měsících je dosaženo lehké úspory energie díky stmívání osvětlení. Stejně tak jsou vidět i na denních diagramech úspory v závislosti na intenzitě a poloze slunce během dne.

8 Srovnání modelové situace s reálným stavem

Tento bod se zabývá porovnáním výsledků matematického modelu regulované soustavy, neregulované soustavy a výsledků vypočtených z naměřených dat. Na níže uvedených grafech je červenou křivkou znázorněn průběh spotřeby elektrické energie v neregulované osvětlovací soustavě. U neregulované soustavy se vychází ze zapnutí světel v 7:00 na 100% a vypnutí světel v 15:00. Toto spínání je nejhorší varianta, která může nastat. Tento typ spínání je velice závislý na šetrnosti uživatele. Pomocí zelené křivky jsou zobrazeny vypočtené spotřeby energie pro nastavení regulace výkonu zářivkových svítidel na 500lx v návaznosti na příspěvek denního světla do interiéru. Posledními daty vstupujícími do porovnání jsou v prvním grafu (obrázek 8.1) vypočítaná data z prvního dlouhodobého měření a v druhém grafu (obrázek 8.2) data z druhého dlouhodobého měření. Výsledky z měření nejsou spojené křivkou z důvodu výpadku části hodnot ze spektra kvůli chybě vzniklé při měření.



Obrázek 8.1: Porovnání naměřených a vypočtených dat z jedno sensorové regulace

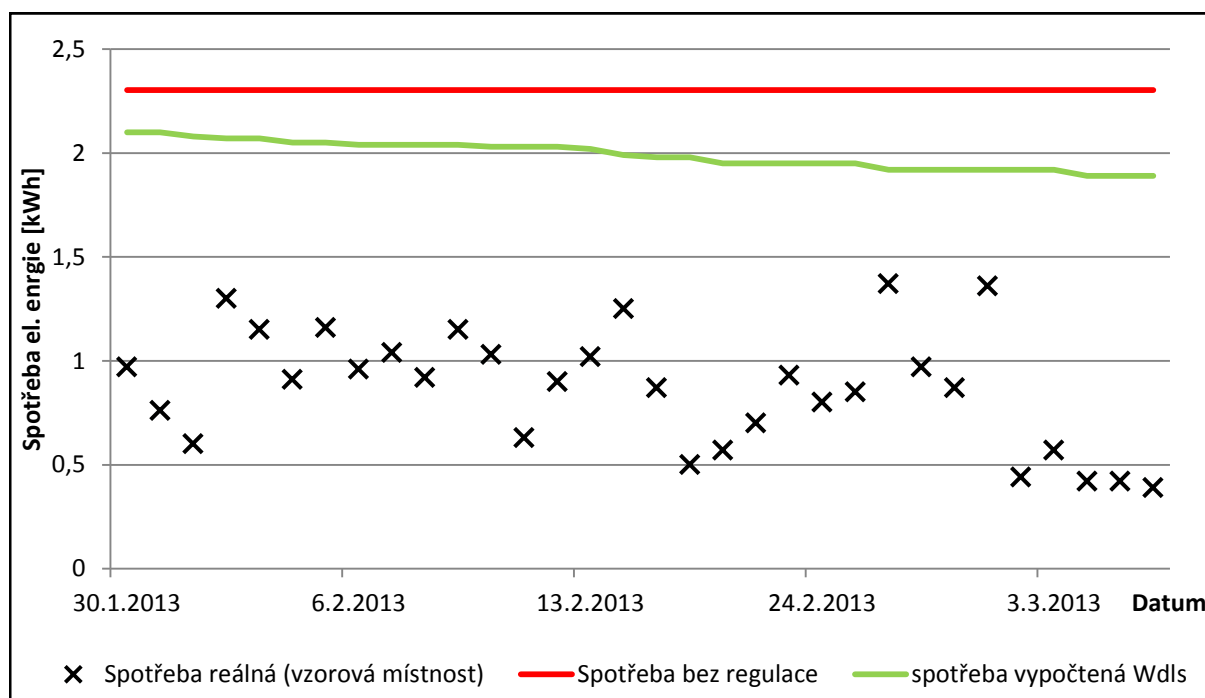
Na obrázku 8.1 je zobrazen graf obsahující data z období 1. 12. 2010 – 14. 4. 2011. Tyto data byly pořízeny při jedno sensorové regulaci. Na grafu je vidět, že větší množstvím naměřených denních

hodnot se pohybuje pod křivkou výpočtu úspor a z toho důvodu je úspora energie větší než výpočtem předpokládaná. Souhrnné informace grafu z obrázku 8.1 jsou uvedeny v tabulce 8.1.

Tabulka 8.1: Celkové a průměrné hodnoty z jedno sensorového měření

	Doba svícení [h]	Naměřený výkon [kWh]	Neregulovaný výkon [kWh]	Vypočtený výkon [kWh]
Součet	688 (86×8)	131,72	198,144	170,81
Průměr	8	1,532	2,304	1,986

V tabulce 8.1 jsou uvedeny souhrnné výsledky pro porovnání jedno sensorového měření a vypočítaných hodnot. Z výsledků jsou patrné úspory elektrické energie. Velikost naměřených úspor je na hodnotě 33% z neregulované osvětlovací soustavy.



Obrázek 8.2: Porovnání naměřených a vypočtených dat z dvou sensorové regulace

Obrázek 8.2 zobrazuje graf realizovaný z hodnot spotřeby elektrické energie naměřených ve vzorové místnosti od 30. 1. 2013 do 6. 3. 2013. Pro toto měření byla osvětlovací soustava řízena pomocí dvou na sobě nezávislých čidel. Na tomto grafu je výkon přiváděný do regulované soustavy svítidel mnohem menší. Toto je částečně způsobeno lepším typem regulace a také jiným typem řízení. Hodnoty uvedené v tabulce 8.2 sumarizují data zobrazená v grafu na obrázku 8.2. Z těchto výsledků je zřejmé, že data byla naměřena v menším časovém rozpětí a také v úsporách nepříznivém období, ale i přesto vypočtené úspory dosahují až na 62% z neregulované osvětlovací soustavy.

Tabulka 8.2: Celkové a průměrné hodnoty dvou senzorového měření

	Doba svícení [h]	Naměřený výkon [kWh]	Neregulovaný výkon [kWh]	Vypočtený výkon [kWh]
Součet	256 (32×8)	27,78	73,728	63,68
Průměr	8	0,868	2,304	1,99

Naměřené výsledky úspor elektrické energie z obou měření vycházejí lépe než vypočítané hodnoty úspor pomocí výpočetního programu. Tento výsledek byl předpokládán z důvodu výpočtu koncipovaného pro nejhorší možný stav. Realita je ve většině případů znatelně úspornější. Při porovnání jednotlivých měření zjistíme, že prvním měřením byla stanovena úspora na 33% a v druhém na 62%. Tento rozdíl je způsoben použitím více senzorů při druhém měření, parametrizačními možnostmi regulátorů použitých v jednotlivých měřeních a nejdůležitějším důvodem je nastavení typu regulace. V prvním případě byla nastavena regulace na minimální hodnotu 500 lx v místnosti na srovnávací rovině. V druhém případě byla regulace nastavena na průměrných 500 lx v místnosti. Z tohoto důvodu je na obrázku 7.5 z prvního měření konstantní hodnota zaznamenaná luxmetrem cca. 550 lx a na obrázku 7.6 z druhého měření je tato hodnota cca. 450 lx.

9 Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo srovnání naměřených hodnot při automatickém řízení na konstantní hladinu osvětlenosti s hodnotami vypočítanými pomocí výpočetních programů Wils a Wdls a hodnotami soustavy bez regulace. Pro toto porovnání byl použit kancelářský prostor z důvodu největšího možného uplatnění regulace. Jako světelný zdroj bylo použito zářivkové svítidlo. Zářivkové svítidlo bylo vybráno pro jeho velkého rozšíření v administrativních budovách, jednoduché regulaci od nuly do sta procent, dlouhé životnosti a parametrům vyzařovaného světla.

Ze srovnání naměřených a vypočtených hodnot úspor elektrické energie jsem vyvodil závěr, že výpočetní program investorovy stavby naznačí možnosti úspor pomocí automatického řízení osvětlení, ale tyto úspory budou při reálném provozu ještě znatelně vyšší. Dále je důležité zdůraznit, že naměřené úspory 33% z prvního měření a 62% z druhého měření vůči soustavě bez smívání byly zjištěny v laboratorních podmínkách. Hodnota těchto úspor se nedá použít jako dogma. Velikost úspor elektrické energie závisí na výběru osvětlovací soustavy, jejích světelných zdrojů, tvaru a velikosti místnosti a jejích prosvětlovacích stavebních otvorů.

Dále je důležité zvážit umístění stropních čidel z důvodu poklesu velikosti intenzity osvětlení v místnosti, vlivem vstupu zvýšeného jasu z venkovního prostředí. Tento pokles bych se pokusil eliminovat přesunem stropního senzoru do tmavší části místnosti více vzdálené od oken. Pokud by toto opatření nebylo dostačující, musela by být programově provedena korekce hladiny stmívání.

Řízení osvětlovací soustavy není nutné provádět pouze při použití kombinovaného osvětlení. Malá část úspor vzniká již při řízení bez příspěvku denního světla tím, že řízením odstraníme přebytečnou intenzitu umělého osvětlení vzniklou při návrhu osvětlovací soustavy vlivem činitele stárnutí světelného zdroje a činitelem údržby svítidla použitých ve výpočtu.

Z porovnání výpočetních programů a jejich výstupů jsem zjistil, že výstupy z programů se liší pouze grafickým zpracováním. Vypočtené výsledky jsou obdobné, jelikož všechny testované programy počítají pomocí parametrů a postupů vycházejících z norem. Podle mého názoru se mi jako uživatelsky nejpřívětivější zdál program Dialux, ve kterém je samotné modelování místnosti a zařizovacích předmětů intuitivní. Oproti tomu graficky nejméně atraktivní Wdls a Wils umí vypočítat možnosti úspor elektrické energie při použití automatického řízení. Navíc je zde možné namodelovat venkovní překážky ovlivňující vstup venkovního světla do místnosti. Nevýhodou je nutnost pro kompletní výpočty použití obou programů.

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Rozklad mimozemského slunečního záření na složky denního světla[2].....	3 -
Obrázek 2.2: Pravoúhlý sluneční diagram[11].....	7 -
Obrázek 2.3: Stanovení hranice D_{\min} pro třídu IV [9].....	9 -
Obrázek 3.1: Geometrické závislosti osvětlenosti od elementární plochy [2]	14 -
Obrázek 3.2: Rozložení jasů 1:3 na rovnoměrně zatažené obloze při tmavém terénu[9]	16 -
Obrázek 3.3: Charakteristika směrové propustnosti světla [9]	16 -
Obrázek 3.4: Složky činitele denní osvětlenosti [9].....	17 -
Obrázek 4.1:Typické průběhy denních osvětleností [3].....	20 -
Obrázek 4.2: Model celoročního relativního slunečního svitu v Čechách[3]	21 -
Obrázek 5.1: Mapa.....	23 -
Obrázek 5.2: Trimr s. r. o.....	24 -
Obrázek 5.3: Laboratoř	24 -
Obrázek 6.1a,1b: Dialux parametr D	26 -
Obrázek 6.2a,2b: Relux parametr D.....	27 -
Obrázek 6.3: Wdls parametr D.....	28 -
Obrázek 6.4: Deklinace slunce [18]	29 -
Obrázek 6.5a,4b: Umělé osvětlení Dialux	30 -
Obrázek 6.6a,6b: Umělé osvětlení Relux.....	31 -
Obrázek 6.7a,7b: Umělé osvětlení Wils.....	32 -
Obrázek 6.8: Model potenciálu úspor vzorové místnosti.....	33 -

Obrázek 6.9: Možnosti úspor vlivem řízení osvětlení.....	- 34 -
Obrázek 6.10,11: Modely hraničních situací kombinované osvětlení	- 35 -
Obrázek 6.12: Stínící systém[7]	- 36 -
Obrázek 7.1: Kužel určující snímanou pracovní plochu [14]	- 37 -
Obrázek 7.2: Průběh regulace zářivkových svítidel 2. 12. 2010.....	- 38 -
Obrázek 7.3: Charakteristiky snímání intenzity osvětlení[13].....	- 38 -
Obrázek 7.4: Průběh regulace zářivkových svítidel 1. 2. 2013.....	- 39 -
Obrázek 7.5: Denní průběh intenzit záření a příkonu z 24. 1. 2011.....	- 41 -
Obrázek 7.6: Denní průběh intenzit záření a příkonu z 24. 2. 2013.....	- 42 -
Obrázek 8.1: Porovnání naměřených a vypočtených dat z jedno senzorové regulace	- 43 -
Obrázek 8.2: Porovnání naměřených a vypočtených dat z dvou senzorové regulace	- 44 -

Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Základní typy standardních obloh [3]	- 4 -
Tabulka 2.2: Teplota chromatičnosti různých světelných zdrojů [4]	- 5 -
Tabulka 2.3: Měrný výkon běžných světelných zdrojů [4]	- 5 -
Tabulka 2.4: Orientační životnost běžných světelných zdrojů [4]	- 5 -
Tabulka 2.5: Zrakové činnosti a hodnoty činitele denní osvětlenosti [9]	- 8 -
Tabulka 2.6: Doporučené rozsahy osvětlenosti podle CIE [4]	- 10 -
Tabulka 2.7: Administrativní prostory (kanceláře) [10]	- 11 -
Tabulka 4.1: Koeficient propustnosti oblohového světla a světelného činitele zákalu [3] ..	- 21 -
Tabulka 5.1: Propustnost oken a odrazivost ploch	- 25 -
Tabulka 6.1: Intenzity osvětlení venkovní nezastíněné roviny pro měsíc únor	- 29 -
Tabulka 6.2: Výpočet umělého osvětlení Dialux	- 30 -
Tabulka 6.3: Výpočet umělého osvětlení Relux	- 31 -
Tabulka 6.4: Výpočet umělého osvětlení Wils	- 32 -
Tabulka 6.5: Nastavení teoretické řízení	- 33 -
Tabulka 7.1: Rovnoměrnosti měřené	- 40 -
Tabulka 8.1: Celkové a průměrné hodnoty z jednoho sensorového měření	- 44 -
Tabulka 8.2: Celkové a průměrné hodnoty dvou sensorových měření	- 45 -

Seznam literatury

Knížní zdroje:

- [1] HABEL, Jiří. ***Světelná technika a osvětlování***. Praha: FCC Public, 1995, 437 s. ISBN 80-901-9850-3.
- [2] RYBÁŘ, Petr, František ŠESTÁK, Marie JULKOVÁ, Josef HRAŠKA a Jiří VAVERKA. ***Denní osvětlení a oslunění budov***. 1. vyd. Brno: ERA, 2002, 271 s. ISBN 80-865-1733-0.
- [3] DARULA, Stanislav. ***Osvětlování světlovody***. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 160 s. ISBN 978-80-247-2459-1.
- [4] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. ***Světelná technika***. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [5] WEIGLOVÁ, Jiřina a Jan KAŇKA. ***Stavební fyzika 10: Denní osvětlení a oslunění budov***. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999, 172 s. ISBN 80-010-1913-6.
- [6] HABEL, Jiří. ***Světlo a osvětlování***. 2013. vyd. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [7] KAPLAN, Vít. ***Projekt sběrníkové elektroinstalace budov***. Ostrava, 2011. Bakalářská práce. VŠB - TU Ostrava. Vedoucí práce Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D.

Normy:

- [8] ČSN EN 50090. ***Elektronické systémy pro byty a budovy (HBES)***. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1. 8. 1997.
- [9] ČSN 73 0580-1. ***Denní osvětlení budov: Část 1: Základní požadavky***. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Červen 2007.
- [10] ČSN EN 12464-1. ***Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů: Část 1: Vnitřní pracovní prostory***. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1. 3. 2012.

- [11] ČSN 73 0581. *Oslunění budov a venkovních prostor - Metoda stanovení hodnot*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Zář 2009.

Zákony:

- [12] Česká Republika. **Změna zákona o hospodaření energií**. In: *318/2012 Sb.* Praha: Parlament České republiky, 2012. Dostupné z: <http://portal.gov.cz>

Internetové zdroje:

- [13] **ABB** [online]. 2013 [cit. 2013-03-22]. Inteligentní elektroinstalace ABB i-bus® KNX. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/cz/9AAC111724.aspx?country=CZ>
- [14] **Siemens** [online]. 2013 [cit. 2013-03-22]. GAMMA - systémová technika budov KNX EIB. Dostupné z: http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=79b0983164&ctxp=doc_katalogy
- [15] **RELUX INFORMATIK AG**. *Relux vision 1.1: Manual*. Švýcarsko, 2007. Dostupné z: http://www.relux.biz/pdf/manual_vision_09.pdf
- [16] **DIAL GMBH**. *DIALux Version 4.9: User manual*. Německo, 2011. Dostupné z: http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/manuais/dialux_manual_ingles.pdf
- [17] **ASTRA MS SOFTWARE S.R.O.** *Wils 6.3.12.1: Manual*. Olomouc, 2011. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz.old/mpsd/files/manuals/Wils_manual.pdf
- [18] **Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování** [online]. Praha: FCC Public s. r. o, 2013[cit. 2013-04-11]. ISBN 1212-0812. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22833

Seznam příloh

- I. Nákres laboratoře a stínících překážek
- II. Graf dlouhodobých naměřených dat za období 1. 12. 2010 – 14. 4. 2011
- III. Graf dlouhodobých naměřených dat za období 30. 1. 2013 – 6. 3. 2013
- IV. Sumarizovaná denní data za období 1. 12. 2010 – 14. 4. 2011
- V. Sumarizovaná denní data za období 30. 1. 2013 – 6. 3. 2013